



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
División de Ciencias Biológicas
Departamento de Ciencias Ambientales

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

CORRELACIÓN ELECTROENCEFALOGRÁFICA DURANTE MEMORIA DE TRABAJO Y MEMORIA INMEDIATA VISOESPACIAL EN HOMBRES JÓVENES

Tesis

que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO
(ORIENTACIÓN NEUROCIENCIA)

presenta

Edwin Ivan Cruz Paniagua

Comité tutorial

Dr. Miguel Ángel Guevara Pérez (Director)

Dra. María Esther Olvera Cortéz

Dra. Marisela Hernández González

Dra. Araceli Sanz Martín

Guadalajara, Jalisco

Enero de 2015

RESUMEN

Operacionalmente la memoria inmediata (MI) ha sido asociada al mantenimiento de información, y la memoria de trabajo (MT) al mantenimiento y manipulación simultánea de información. Sin embargo, los conceptos de MI y MT están altamente relacionados y sus diferencias teóricas no han sido bien definidas. Una tarea clásica para el estudio de MI y MT visoespacial es la prueba de cubos de Corsi. En esta tarea, secuencias de diferente longitud son indicadas por el examinador, para enseguida ser reproducidas por el evaluado, en el mismo orden (condición progresiva), o en orden inverso (condición regresiva). Teóricamente, la condición regresiva requiere mayor manipulación de información que la condición progresiva y las bases neurales de tales procesos visoespaciales han sido asociadas a la actividad del circuito frontoparietal. Así, mediante la aplicación del análisis de correlación electroencefalográfica (rEEG), en este estudio se determinó el grado de acoplamiento funcional entre señales EEG de regiones prefrontales (F1, F2, F3, F4) y parietales (P3, P4), durante la ejecución de cubos de Corsi en progresión (MI) y regresión (MT). Diecinueve hombres jóvenes ejecutaron una versión computarizada de la tarea de cubos de Corsi en ambas condiciones, para series de dos a siete bloques (cargas de memoria). Las correlaciones intrahemisférica e interhemisférica fueron calculadas para las bandas delta (1-3.5 Hz), theta (20- 30.5 Hz), alfa1 (8-10.5 Hz), alfa2 (11-13.5 Hz), beta1 (14-19.5 Hz), beta2 (20-30.5 Hz) y gama (31-50 Hz). Los participantes presentaron un mayor número de respuestas correctas para la condición progresiva que para la regresiva; esta diferencia fue particularmente evidente para series de 5 bloques. Similarmente, la condición progresiva se asoció con una mayor rEEG tanto inter- como intrahemisférica en bandas rápidas (alfa1, alfa2, beta1, beta2, y gama) principalmente en regiones derechas y áreas prefrontales. Estos datos muestran que la MI y la MT pueden ser distinguidas conductual y neurofuncionalmente, y sugieren que el circuito frontoparietal es necesario para la ejecución de ambas tareas, aunque para la tarea de MT, al implicar procesos de mayor complejidad, se requiere de un mayor grado de demanda y especialización de áreas prefrontales.

ABSTRACT

Conceptually short term memory (STM) has been associated to the maintenance of information and working memory (WM) to the simultaneous maintenance and manipulation of information. However, the concepts of STM and WM are highly related and their theoretical differences are not well defined. A classic task for the study of visuospatial STM and WM is the Corsi block tapping task. In this test, sequences of increasing length are tapped by the examiner, and immediately after must be reproduced by the evaluated subject in the same order (the forward condition) or in the opposite order (the backward condition). Theoretically the backward condition requires more manipulation of information than the forward condition and the neural basis of those visuospatial processes have been associated to the activity of the frontoparietal circuit. In this way, by using the electroencephalography correlation analysis (rEEG) in this study, the degree of functional coupling between EEG signals of prefrontal (F1, F2, F3, F4) and parietal (P3, P4) regions was determined, while executing the Corsi block tapping task in forward (STM) and backward (WM) conditions. Nineteen young volunteer males execute a digital version of the Corsi block tapping task in both conditions, for series from two to seven blocks (memory loads). The interhemispheric and intrahemispheric correlations were calculated for delta (1-3.5 Hz), theta (20-30.5 Hz), alpha1 (8-10.5 Hz), alpha2 (11-13.5 Hz), beta1 (14-19.5 Hz), beta2 (20-30.5 Hz), and gamma (31-50 Hz) bands. The participants had higher number of correct trials for the forward than for the backward condition; this difference was particularly evident in series of 5 blocks. Similarly, the forward condition was associated with greater rEEG inter- and intrahemispheric in the fast bands (alpha1, alpha2, beta1, beta2 and gamma), predominantly in right regions and in prefrontal areas. This data indicates that STM and WM can be distinguished behaviorally and neurofunctionally and suggests that the frontoparietal circuit is needed for the execution of both tasks, although the WM task, because it involves more complex process, requires greater demands and more specialization of prefrontal areas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, que considero es uno de los tesoros más preciados que la vida me ha regalado, mis hermanos Josue Cruz y Abdiel Cruz, quienes siempre me han motivado, mis sobrinos Arturo Cruz y Abdiel Cruz, que basta con verlos para alegrarme el día, a mi padre Salvador Cruz, que es sin duda la persona que más admiro, y a mi madre Lucina Paniagua, quien me ha dado el más grande cariño y las más trascendentes enseñanzas. También agradezco a los integrantes del laboratorio, particularmente al Dr. Miguel Ángel Guevara y la Dra. Marisela Hernández por su confianza y sabios consejos, a la Dra. Ivett Sandoval por su apoyo incondicional, así como a la Dra. Claudia Amezcua, Carolina Sotelo, David González, Diego Chapa, Enrique Hernández, Jorge Hevia, Julio LLamas. Manuel Cruz, Marai Perez, Mayra Almanza, Mayra Ramirez, Pedro Cortes y Rosa Maria Hidalgo, con quienes he compartido largas jornadas de trabajo, pero principalmente una buena amistad. De igual forma agradezco a la Dra. Esther Olvera y la Dra. Araceli Sanz, miembros de mi comité, por su invaluable guía. Además agradezco mis compañeros de generación, a quienes les deseo mucho éxito, particularmente a Nayeli Martínez por su amistad y afecto. Ciertamente son muchas personas las que han contribuido a mi formación académica, y que me han impulsado a ser mejor persona, a todos ustedes, gracias.

“A veces me gustaría que el cerebro fuera más simple, para poder entenderlo.
Sin embargo, es gracias a su complejidad, que tenemos la capacidad de estudiarlo”

Edwin Cruz

La presente tesis se realizó en el Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara bajo la tutoría del Dr. Miguel Ángel Guevara Pérez, con apoyo del CONACYT a través de la beca No.353018

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES	4
	II.I Memoria	4
	II.II Clasificación de la memoria.....	5
III.	MEMORIA INMEDIATA (MI) Y	8
	MEMORIA DE TRABAJO (MT)	8
	III.I Modelos teóricos de la MI y MT	9
	III.II Evaluación de MI Y MT	13
	III.III Cubos de Corsi.....	19
IV.	BASES NEURALES DE LA MI Y LA MT	22
	IV.I Corteza Prefrontal.....	22
	IV.II Corteza Parietal	28
	IV.III Conexiones entre la corteza frontal y la corteza parietal	29
V.	REGISTRO ELECTROENCEFALOGRÁFICO (EEG)	32
	V.I Ritmos electroencefalográficos	37
	V.II Actividad EEG durante tareas de MI Y MT	38
VI.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	46
VI.	OBJETIVO GENERAL.....	47
	VI.I Objetivos Específicos.....	47
VII.	HIPÓTESIS GENERAL	48
	VII.I Hipótesis Específicas	48
VIII.	VARIABLES.....	49
	VIII.I Variables Independientes:.....	49
	VIII.II Variables dependientes:.....	49

IX.	METODOLOGÍA	50
IX.I	Muestra:.....	50
IX.II	Criterios de inclusión:.....	50
IX.III	Actividad Electroencefalográfica (EEG):.....	51
IX.IV	Procedimiento.....	52
X.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	57
XI.	CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	58
XII.	RESULTADOS CONDUCTUALES.....	59
XIII.	RESULTADOS ELECTROENCEFALOGRÁFICOS	62
XIV.	DISCUSIÓN.....	68
XV.	CONCLUSIONES.....	77
XVI.	REFERENCIAS	78
XVII.	ANEXOS	88
XVII.I	PUNTAJES DE MUESTRA EN PRUEBAS DE INCLUSIÓN.....	88
XVII.II	FORMATO INFORMATIVO Y SOLICITUD DE CONSENTIMIENTO	89
XVII.III	CUESTIONARIO DEMOGRÁFICO.....	91
XVII.IV	ESCALA DE ATENCIÓN NEUROPSI	92
XVII.V	DICTAMEN DE COMITÉ DE ÉTICA	98

I. INTRODUCCIÓN

La memoria es una de las principales funciones de la cognición humana y prerequisite de diversos procesos, entre ellos el aprendizaje (Gumá, 2001). Son varias las definiciones de memoria que se pueden encontrar en la literatura, sin embargo, muchas de estas coinciden en que la memoria es el procesamiento de información que incluye tres fases: una fase de codificación, una de almacenamiento y otra de recuperación (Atkinson & Shiffrin, 1968; Gumá, 2001).

La memoria humana es una función compleja en donde la comprensión del sustrato neurobiológico que la subyace, requiere del estudio del sistema nervioso en distintos niveles que van desde el molecular a los sistemas neurales y el enfoque cognoscitivo (Buckner & Koutstaal, 1998). De esta manera, para su estudio neurocientífico, más que hablar de un sistema de memoria único, se han descrito diferentes sistemas de memoria (Baddeley, 2012).

De acuerdo a su duración se ha clasificado a la memoria en tres categorías temporales: sensorial, que se refiere a una duración de fracciones de segundos; de corto plazo si el mantenimiento de información es por varios segundos hasta no más de un minuto; y memoria de largo plazo para una duración de más de un minuto (Gumá, 2001; Atkinson & Shiffrin, 1968).

Para el presente estudio es de especial interés la memoria de corto plazo misma que se clasifica también como memoria inmediata (MI) y que se asocia a la memoria de trabajo (MT), las cuales aunque están altamente relacionadas, diversos autores proponen que son procesos cognoscitivos distintos (Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999). Por un lado, el término MT se ha descrito como un sistema de capacidad limitada que permite el almacenaje temporal y la manipulación de información; en tanto que la MI se ha asociado al almacenaje temporal y la evocación de información pero sin la manipulación de la misma (Baddeley, 2012).

Sin embargo, la distinción entre MI y MT en la literatura no es precisa ni indiscutible. Por ejemplo, así como se ha señalado que las tareas de MT implican estrictamente tanto el almacenamiento como la manipulación de información

(Daneman & Carpenter, 1980), en contraparte se ha propuesto que lo que distingue las tareas de MT, es la alta demanda de control atencional, sugiriendo incluso que tareas de MI para algunos adultos serían esencialmente tareas de MT para otros (Engle et al., 1999).

A pesar de no ser clara la distinción entre MI y MT éstas son comúnmente evaluadas tanto para fines clínicos como de investigación. Una de las pruebas más utilizadas para valorar la MI y MT visoespacial es la prueba de cubos de Corsi (Milner, 1971). En el laboratorio de correlación electroencefalográfica y conducta de la Universidad de Guadalajara se diseñó una versión computarizada de la prueba de los cubos de Corsi. Esta muestra 10 cubos en la pantalla, que se iluminan uno a la vez, indicando una secuencia, misma que después de ser mostrada, es señalada por el participante ya sea en el mismo orden si se requiere evaluar MI o en orden inverso si se desea evaluar MT (Guevara, Sanz-Martin, Hernández-González, Sandoval-Carrillo, 2014).

Por otra parte, existe evidencia neurobiológica que sustenta la distinción de subregiones de la corteza prefrontal dependiendo de las demandas del procesamiento, se sugiere así, que mayor participación de regiones laterales prefrontales ventrales está involucradas en el almacenamiento y evocación de información mientras que regiones laterales prefrontales dorsales están involucradas en su procesamiento y manipulación, favoreciendo así la distinción entre MI y MT (D'Esposito, Postl, Ballard, Lease, 1999; Park, Davidson, Davidson, Lautenschlager, Smith, 2002).

La representación de información espacial ha sido un modelo común para la investigación de la memoria de trabajo (Constantinidis, & Wang, 2004). En estos estudios se ha observado la activación metabólica simultánea de la corteza prefrontal y parietal durante la ejecución de una tarea visoespacial en monos (Friedmany, & Goldman-Rakic, 1988), y se ha reportado un patrón similar de activación en estas áreas en humanos (Constantinidis, & Wang, 2004; Glabus et al., 2003). Asimismo, se ha asociado a la memoria visoespacial con el

funcionamiento del hemisferio derecho principalmente (Corsi, 1972; Fletcher, & Henson, 2001).

El registro electroencefalográfico (EEG) es una técnica con alta resolución temporal que permite medir cambios superficiales de voltaje, siendo estos un reflejo de la actividad eléctrica cerebral. De esta forma, la señal obtenida presenta patrones característicos que pueden ser asociados con procesos cognoscitivos específicos. La correlación EEG (rEEG) es útil para determinar el grado de acoplamiento funcional entre dos regiones cerebrales en donde una alta correlación sugiere mayor homogeneidad u organización global mientras baja correlación sugiere mayor diferenciación. Así, se ha reportado el acoplamiento funcional frontoparietal, durante la ejecución de tareas de MT visoespacial (Sauseng, Klimesch, Doppelmayr, Hanslmayr, Schabus & Gruber, 2004; Hevia, 2014).

Evaluar las posibles diferencias en la correlación EEG, durante la ejecución de cubos de Corsi en progresión y cubos de Corsi en regresión, es el objetivo del presente estudio. Particularmente se pretende analizar la correlación entre regiones frontales y parietales, ya que como se ha señalado, estas áreas están altamente involucradas en la memoria de trabajo e inmediata visoespacial (Glabus et al., 2003). De esta manera, se pretende discernir el grado de acoplamiento cortical durante la ejecución de cada tarea, lo que permitiría distinguir las bases anatomofuncionales asociadas a cada proceso, y con ello contribuir a determinar las diferencias entre la MI y la MT.

II. ANTECEDENTES

II.I Memoria

La memoria es el proceso que permite conservar la información transmitida por una señal, una vez que se ha suspendido la acción de dicha señal (Squire, 2001). Implica tres fases de procesamiento de información: una fase de codificación, otra de almacenamiento y otra de recuperación (Gumá, 2001).

La codificación se refiere a la forma en la que llega el estímulo, cuya selección depende del foco de atención. La segunda etapa, el almacenamiento, inicia con la activación de la memoria a corto plazo y por tanto un almacenamiento temporal de información, misma que prevalece solo si es reforzada. La última etapa, la de recuperación, corresponde al acceso de información previamente almacenada (Roselli, Matute, & Ardila, 2010).

La expresión de las bases biológicas neuroanatómicas, pueden reflejar capacidades como la memoria (Squire, 2004). En este sentido, así como la memoria humana es una función compleja, también resulta compleja la comprensión del sustrato neurobiológico que la subyace, lo cual, requiere del estudio del sistema nervioso en sus distintos niveles, es decir, desde el nivel molecular hasta los sistemas neurales y el enfoque cognoscitivo (Buckner, & Koutstaal, 1998).

Donald Hebb fue uno de los primeros investigadores en estudiar la memoria utilizando un enfoque experimental. Su hipótesis es el primer enunciado explícito de una regla fisiológica que subyace la memoria basado en un mecanismo de plasticidad neural. Ésta propone que teniendo una célula A y una célula B, si el axón de la célula A excita repetidamente la célula B, algún crecimiento o cambio metabólico sucede en una o ambas células, de tal forma que la eficiencia de A para activar B, se ve aumentada (Hebb, 1949).

Con la misma perspectiva, Kandel (2007), premio Nobel de fisiología, propone cuatro principios de biología celular que sustentan el aprendizaje y la

memoria. En estos menciona que el mecanismo que subyace al aprendizaje y la memoria son los cambios sinápticos, mismos que pueden ocurrir en diversos sitios del circuito neuronal implicado; ya sea como mediador, siendo este el que realiza directamente la tarea, o como modulador, que regula la actividad de las neuronas del circuito mediador.

Tanto Hebb (1949) como Kandel (2007), consideran que no hay una región particular responsable de la memoria, sino proponen que ésta tiene sus bases en diversos circuitos neurales y que dichas conexiones subyacen las representaciones de la información.

Otro de los antecedentes importantes en el estudio de la memoria, es el análisis científico de los procesos de memoria del paciente H.M. reportado por Scoville y Milner (1957). Dicho paciente sufría ataques de epilepsia, por lo que se le extirpo la superficie interna del lóbulo temporal así como el hipocampo. Sin embargo, el resultado fue que dicho paciente perdió la capacidad para integrar información a la memoria de largo plazo (Corsi, 1972).

Los estudios de Milner significaron el comienzo de la investigación moderna de la memoria en las neurociencias cognoscitivas, ya que se distinguió a la memoria como una función mental definida y diferenciada de las capacidades perceptivas, motoras y cognoscitivas, así como que diversos sustratos neurológicos subyacen distintos tipos de memorias, particularmente se diferenció la memoria de corto plazo de la memoria de largo plazo (Kandel, 2007; Scoville, & Milner, 1957).

II.II Clasificación de la memoria

Un sistema puede ser entendido como un conjunto de elementos que interactúan entre sí para lograr un objetivo. En neurociencia, el término sistema neural se define, por ejemplo, como un conjunto de circuitos que subyacen funciones similares y que comparten un propósito conductual (Purves, 2001).

La neuropsicología utiliza el término de sistemas, para referirse al conjunto de estructuras cerebrales que tienen un correlato cognoscitivo (Tulving, 1987), los

cuales aunque pueden operar de manera coordinada y simultánea, muestran patrones de activación cerebral distintivos.

Aunque comúnmente hablamos de la memoria como un sistema único, son diversos los sistemas, así como los criterios de clasificación que se han utilizado al estudiar la memoria. Desde el siglo XIX William James (1890) hizo distinción entre dos sistemas de memoria acorde a su temporalidad, en donde la memoria primaria es aquella memoria activa y en la conciencia, mientras que la memoria secundaria se refiere a la memoria que se ha almacenado por un largo periodo de tiempo.

Actualmente se ha mantenido la clasificación de la memoria de acuerdo a la duración del almacenamiento de información. Así, se ha clasificado en memoria sensorial, memoria a corto plazo y memoria a largo plazo. Bajo este esquema, en el registro sensorial la información reside por un periodo muy corto de tiempo, en un orden de cientos de milisegundos, después del cual decae y es perdida. En la memoria de corto plazo la información es perdida en un periodo aproximado de 30 segundos, pero puede ser mantenida por mayor tiempo si esta es repetida; finalmente, la memoria a largo plazo es un almacén relativamente permanente de información (Atikson & Shifrin, 1968).

El sujeto H.M. era incapaz de incorporar nueva información a la memoria de largo plazo pero no mostraba tales deficiencias en la memoria reciente ni en sus memorias anteriores a la operación (Milner, 1971), lo cual constituye un fundamento neurofuncional de que la memoria a largo plazo y la memoria a corto plazo son sistemas distintos.

La memoria de corto plazo, que es de particular interés para el presente trabajo, se distingue a su vez, de acuerdo al tipo de información procesada en verbal y visoespacial, en donde la información verbal es de naturaleza fonológica mientras que la información visoespacial se refiere a aspectos físicos de los objetos o imágenes como por ejemplo la forma, color, textura y posición (Baddeley, 2012).

En los estudios de Corsi (1972), pacientes con lesiones en el hemisferio derecho mostraban déficit en las tareas de memoria espacial, no así en las tareas

de tipo verbal, lo cual sugiere que el hemisferio derecho está relacionado con tareas de carácter visoespacial, mientras que el hemisferio izquierdo está más involucrado en tareas de carácter verbal.

Asimismo, conductualmente, se ha observado que existe mayor interferencia cuando se realizan dos tareas de memoria de información verbal, o dos tareas de memorias de información espacial, que si se realizan una tarea de información espacial y otra de información verbal (Logie,1995).

La información visoespacial ha sido distinguida a su vez en visual y espacial (Constantinidis, & Wang, 2004). En esta distinción, la información visual se refiere a características de la imagen para su reconocimiento, como por ejemplo: tamaño, forma, y color, mientras que, la información de tipo espacial puede ser entendida como el cambio de posición de un mismo objeto en el espacio.

Haciendo distinción entre procesamiento visual y espacial, se ha encontrado asociada la corteza prefrontal dorsolateral así como la corteza parietal posterior, en la memoria de trabajo de información espacial. Similarmente la corteza prefrontal ventral misma que recibe información de la corteza temporal inferior, se ha asociado a la memoria de trabajo de información visual (Constantinidis, & Wang, 2004).

Otra clasificación de la memoria de corto plazo, es de acuerdo al tipo de procesamiento, en este sentido, se ha señalado que particularmente subregiones de la corteza prefrontal presentan distintos patrones de activación según las demandas de la tarea. De acuerdo al tipo de procesamiento, se ha señalado, por ejemplo, que la corteza prefrontal ventrolateral participa activamente en tareas que involucran mantenimiento activo de información, mientras que la corteza dorsolateral en cambio, muestra mayor activación en tareas que requieren tanto mantenimiento activo como manipulación (D'Esposito,et al., 1999).

III. MEMORIA INMEDIATA (MI) Y MEMORIA DE TRABAJO (MT)

En el estudio de la memoria, ha sido evidente que la memoria de corto plazo o memoria inmediata (MI) y la memoria de trabajo (MT), están altamente relacionadas. Sin embargo, no resultan con la misma claridad las características particulares y que distinguen a cada tipo de memoria. En este sentido, Cowan (2008) menciona que la confusión entre la MI y MT se debe en gran medida al uso de diferentes definiciones, utilizadas por distintos investigadores.

Operacionalmente, Daneman y Carpenter (1980) asumen que lo que es crítico para distinguir a la MI de la MT, es que las tareas de MT incluyen tanto el almacenamiento temporal como la manipulación de información, de manera que activan tanto el retén de información como el control atencional. Similarmente, Gumá (2001), describe a la memoria de trabajo como una función de la memoria declarativa de corto plazo, que incluye el mantenimiento y la manipulación de información, y que es indispensable para la realización de tareas guiadas a una meta. En contraparte, Engle (1999) al igual que Kane et al. (2001), sugieren que lo que es crítico para distinguir la MT de la MI es el grado de complejidad implicada para el control atencional, de esta manera, se ha propuesto que tareas de MT para algunos son tareas de MI para otros.

Independientemente de las características operacionales de la tarea, Seamon y Kenrick (1994) mencionan que la memoria a corto plazo es un tipo de información que usamos para retener información por un periodo corto de tiempo, la cual tiene un componente de memoria de trabajo, que es utilizado para manipular información de manera consciente. Por otra parte, Cowan (2008) menciona que la memoria de trabajo es un constructo más complejo que la memoria a corto plazo, en donde la memoria a corto plazo es un componente de la memoria de trabajo; siendo la memoria de corto plazo un componente de almacén temporal de información, mismo que junto a un componente atencional forman a la memoria de trabajo.

Además, aunque muchos investigadores han hecho distinción explícita entre MT y MI, otros trabajan con ambos términos sin mostrar una clara distinción. Por ejemplo, Atikson y Shifrin (1968), al hablar del sistema de memoria de corto plazo mencionan que esta puede considerarse MT; o Miller et al. (1960) utilizan el término MT para referirse a una memoria temporal desde el punto de vista funcional.

En el presente proyecto de investigación, nos referiremos a memoria inmediata, al evaluar cubos de Corsi en progresión, debido a que involucra mayormente evocación de la información; por otra parte, nos referiremos a memoria de trabajo, al evaluar cubos de Corsi en regresión, debido a que involucra mayor manipulación de la información (que cubos de Corsi en progresión), entendiéndose manipulación, como el reordenamiento de los elementos retenidos en memoria.

III.I Modelos teóricos de la MI y MT

Existen diversos modelos de memoria que resultan útiles para comprender el concepto de MT desde la perspectiva de diversos autores, quienes describen los principales componentes implicados así como el funcionamiento e interacción de los mismos. Cabe mencionar que aunque la mayoría de estos modelos enfatizan particularmente el concepto de MT, estos también nos permiten estudiar las diferencias entre la MI y la MT. A continuación se muestran algunos de ellos.

Baddeley y Hitch (1974) proponen un modelo teórico para el estudio de la MT. Distinguen inicialmente tres componentes: el ejecutivo central, que actúa como un control atencional de información dirigida a una acción; el subsistema visoespacial, que almacena y procesa información de carácter visual y espacial; y un subsistema fonológico, que almacena y procesa información de carácter verbal. Posteriormente se agregó un cuarto componente denominado “buffer episódico”, el cual puede integrar información de diversas fuentes y es un

facilitador entre los subsistemas de la MT y la memoria de largo plazo (Baddeley, 2012).

El modelo de Baddeley ha sido aceptado por la comunidad científica, porque permite hacer preguntas abordables además de que es congruente con la evidencia neurobiológica (Baddeley, 2012). En este sentido, ha sido posible distinguir la participación de distintas regiones cerebrales en el procesamiento de la MT; en términos generales, se han asociado las áreas temporales y el área de broca con el subsistema fonológico; las áreas prefrontal, parietal posterior y motora suplementaria con el subsistema visoespacial, y aunque de manera menos clara, el ejecutivo central y el buffer episódico con la activación de áreas frontales y más específicamente con la corteza prefrontal dorsolateral (Baddeley, 2012) (Figura 1).

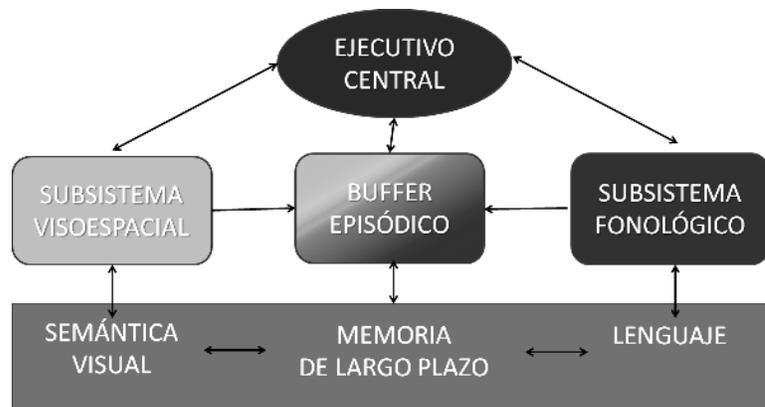


Figura 1. Modelo de Baddeley de la memoria de trabajo, en donde se ilustran sus componentes y la relación de los mismos (modificado de Baddeley, 2012).

Cowan (2008) propone un marco teórico que si bien no es modelo de memoria de trabajo per se, describe la relación entre memoria de largo plazo, memoria de corto plazo, memoria inmediata y memoria de trabajo. Bajo este esquema la memoria de corto plazo subyace a la activación de un fragmento de la memoria a largo plazo activada por un periodo corto de tiempo, activación que decae en función del tiempo a menos que sea reforzada. Además, parte de esta memoria activa, conforma el foco atencional, el cual tiene capacidad limitada y es

seleccionada por el ejecutivo central que funciona como un control atencional (Figura 2).

Asimismo Cowan (2008) señala que las principales diferencias entre la memoria de largo plazo y la memoria de corto plazo son la duración temporal y la capacidad de segmentos que pueden ser retenidos. Sin embargo, para este autor resulta menos evidente la distinción entre la memoria inmediata y la memoria de trabajo, e incluso menciona que esto depende de la definición que se acepte. Por otra parte, destaca el hecho de que algunas pruebas de memoria de corto plazo muestran mayor correlación con aptitudes cognitivas que otras.

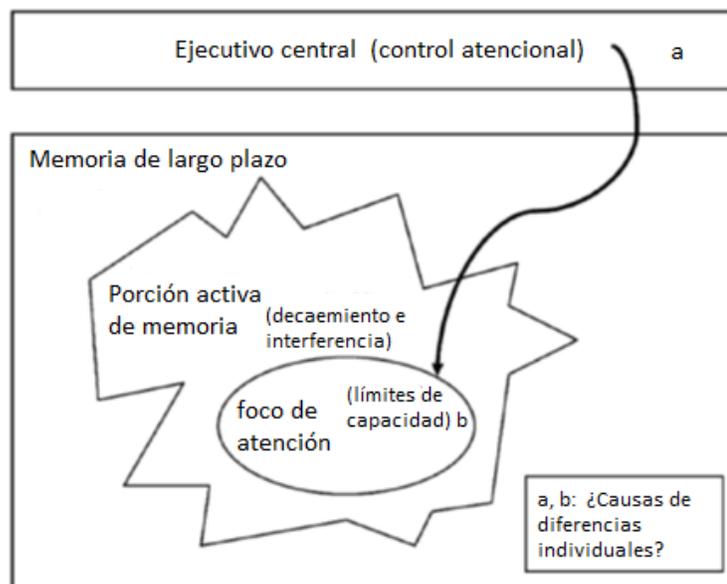


Figura 2. Modelo de Cowan. Se ilustra la relación entre la memoria de largo plazo, la memoria de corto plazo y la memoria de trabajo. Tanto el control atencional a) como el foco atencional b) pueden tener distintas capacidades, siendo posibles causas de las diferencias individuales en la memoria de trabajo (modificado de Cowan 2008).

Por su parte, Goldman-Rakic (1987) destaca el papel de la corteza prefrontal en la MT, sugiriendo así la comprensión de la MT en función de la arquitectura de la corteza prefrontal. De esta manera, asocia la conexión entre áreas prefrontales y el lóbulo parietal posterior con la memoria de trabajo espacial; y la corteza prefrontal y sus conexiones con el lóbulo temporal con la MT visual.

Goldman-Rakic (1987) sugiere que cada subsistema de MT subyace en una red neuronal específica, pero con la capacidad de interactuar con otros subsistemas lo que permitiría el procesamiento paralelo y por tanto procesos cognoscitivos de alto nivel. Además, sugiere que el ejecutivo central, es una propiedad que coactiva múltiples procesadores de dominio específico, mismos que se localizan en la corteza prefrontal y que están interconectados con regiones posteriores.

Christoff y Gabrieli (2000) proponen un modelo de organización jerárquica rostrocaudal de la corteza prefrontal, en donde diversos subprocesos de la memoria de trabajo, tales como el mantenimiento, la manipulación y el monitoreo de información, subyacen en distintas regiones de la misma, siendo procesos con distinto nivel de complejidad.

De esta forma Christoff y Gabrieli (2000) proponen que el mantenimiento activo de información subyace principalmente en la actividad de la porción ventrolateral de la CPF, el monitoreo y manipulación de información generada internamente en la actividad de la región dorsolateral, y el monitoreo y manipulación de información generada externamente en la actividad de la corteza frontopolar (Figura 3).

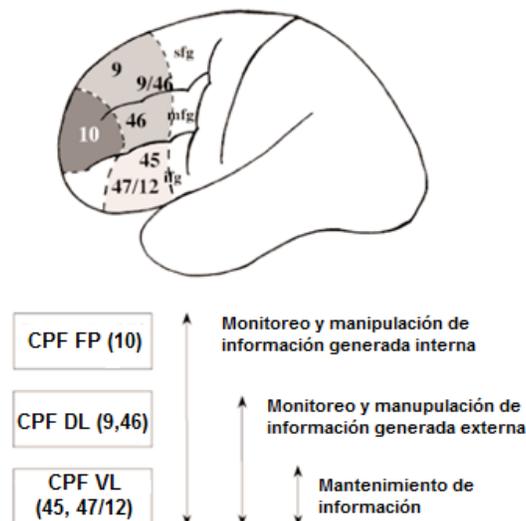


Figura 3. Organización jerárquica de áreas involucradas en la MT. Los números corresponden a las áreas de Brodmann. CPF: Corteza Prefrontal, FP:Frontopolar, DL: Dorsolateral, VL: Ventrolateral (modificado de Christoff, 2000).

III.II Evaluación de MI Y MT

La memoria inmediata y de trabajo son evaluadas tanto para fines clínicos como de investigación. Diversos paradigmas son utilizados para evaluar aspectos particulares de cada memoria; por ejemplo, la subescala de retención de dígitos (Wechsler, 1998) es comúnmente utilizada para evaluar MI y MT verbal, mientras que la prueba de cubos de Corsi, evalúa memoria visoespacial (Corsi, 1972).

La subescala de retención de dígitos pertenece a la escala de evaluación verbal de la escala de inteligencia de Wechsler para Adultos (WAIS, por sus siglas en inglés). En esta prueba se le pide al participante repetir una serie de dígitos, ya sea en orden progresivo o regresivo, después de ser escuchada. Posteriormente el procedimiento se repite pero con series que aumentan progresivamente de longitud (Keenan, Ezzat, Ginsburg, & Moore, 2001) desde tres hasta nueve elementos para la prueba en orden progresivo y de dos a ocho elementos para la prueba en orden regresivo. Las pruebas en orden progresivo y regresivo se aplican por separado (Wechsler, 1998). Además se cuentan con dos posibles ensayos por cada magnitud de longitud, si el participante responde adecuadamente en el primer ensayo, se prosigue con una magnitud más alta; por otro lado, si el participante no responde bien en el primer ensayo pasa al segundo ensayo, si contesta bien se pasa a la siguiente magnitud, en caso de responder incorrectamente también el segundo ensayo, se concluye la prueba. Es importante aclarar, que para la prueba de retención de dígitos, el aplicador debe leer los dígitos a la velocidad de “uno por segundo”. La puntuación corresponde a la suma del número máximo de dígitos retenidos en orden progresivo y en orden regresivo ya sea en el primer o segundo ensayo, siendo la puntuación máxima de 17 puntos (Wechsler, 1998).

La representación de información espacial, particularmente la posición de un estímulo visual, es también un modelo común para el estudio de la memoria de trabajo; entre sus ventajas tenemos que el espacio visual está representado en el cerebro de forma paramétrica y que ha sido extensamente estudiado tanto en tareas de percepción como de memoria. La corteza visual primaria está

organizada retinotópicamente existiendo una alta correspondencia entre la actividad neuronal y la posición de un estímulo a lo que se le conoce como su campo receptivo. De manera similar, se utiliza el término campo de memoria como la región del espacio visual en donde la aparición de un estímulo produce activación neuronal sostenida, aun después de que el estímulo visual no está presente. De esta forma, los paradigmas visoespaciales proveen un modelo apto para el estudio de la memoria de trabajo, de manera que gran número de estudios de memoria inmediata y memoria de trabajo han sido realizados utilizando estos paradigmas (Constantinidis, & Wang, 2004).

Un ejemplo de tarea de memoria de corto plazo visoespacial, es la de respuesta oculomotora con retraso, esta tarea es comúnmente utilizada con primates mientras se realiza registro unitario. En este paradigma, se le pide a los sujetos observar un punto de fijación al centro de una pantalla; posteriormente, aparece un estímulo en cierta posición el cual el sujeto observa usando solo su visión periférica, poco después desaparece el estímulo mientras el sujeto continua viendo el punto de fijación, finalmente, después de un tiempo de retraso desaparece el punto de fijación, y es en ese momento que el sujeto desvía la mirada hacia la posición del estímulo previamente aparecido (Constantinidis, & Wang, 2004).

La tarea con retraso mejor conocida por su nombre en inglés “Delayed Task” (DT) o “Delayed Response” (DR) es una de las tareas más simples y más utilizadas para evaluar memoria de trabajo. En esta tarea se presenta un estímulo al participante, el cual corresponde al estímulo prueba, posteriormente el estímulo desaparece y hay un tiempo de retraso, el cual implica a mayor tiempo mayor demanda cognoscitiva, además de que pueden o no presentarse otros estímulos con el fin de producir interferencia. Después se le presenta al sujeto nuevamente el estímulo prueba pero ahora acompañado de otros estímulos y se le pide al participante que identifique el estímulo prueba. Todo este procedimiento, desde la presentación del estímulo prueba, hasta el reconocimiento del mismo por parte del

sujeto es repetido sucesivamente (Friedman, & Goldman-Rakic, 1988; Goldman-Rakic, 1987).

La tarea conocida en inglés como "delayed non-matching task" es una modificación de la "delayed task". Inicialmente se presenta un estímulo prueba, posteriormente el estímulo desaparece y hay un tiempo de retraso, posteriormente se presenta el estímulo prueba acompañado de un estímulo nuevo, finalmente se le pide al participante que identifique el estímulo que no corresponde al estímulo prueba (el estímulo nuevo). Dicho procedimiento es repetido varias veces. Además, en otras variaciones, se le presenta al final al sujeto más de un estímulo nuevo, y se le pide al sujeto que identifique aquellos que no tengan cierta característica correspondiente al estímulo prueba (p. ej. color) (Zola, Squire, Teng, Stefanacci, Buffalo, Clark, 2000).

Otra prueba que evalúa el mantenimiento activo de información, es la prueba de Sternberg (1969). En esta se les presenta a los participantes una serie de tres a nueve estímulos de uno en uno. Posterior a la aparición de la serie de estímulos hay un tiempo de retraso, seguido de la aparición de un estímulo prueba. El sujeto tiene que decidir si el estímulo prueba corresponde o no a uno de los estímulos mostrados anteriormente. Cabe aclarar que si bien esta tarea utiliza estímulos visuales, se considera de carácter verbal si los estímulos son letras, de carácter espacial si es un mismo objeto que cambia de posición, o de carácter visual si se utilizan distintos objetos (Fletcher, & Henson, 2001) (Figura 4).

Para distinguir las áreas involucradas en el mantenimiento de información de aquellas asociadas a componentes motores o perceptuales durante la ejecución de la prueba de Sternberg (1968), se puede contrastar la activación cerebral con un grupo control, al cual se le presentan los estímulos de ensayo junto al estímulo prueba de manera simultánea, disminuyendo así la demanda en memoria (Fletcher, & Henson, 2001).

A) Tarea tipo verbal



B) Tarea tipo espacial



C) Tarea tipo visual



Figura 4. Prueba de Sternberg en su versión verbal (A), espacial (B) y visual (C) (modificado de Fletcher y Henson, 2001).

Otra prueba comúnmente utilizada para evaluar la memoria visoespacial es la n-back. En esta prueba, cuando n es igual a uno, una figura aparece en la pantalla; misma que desaparece y aparece enseguida, posteriormente el sujeto debe señalar si la figura conservo o no su posición, así como recordar la nueva posición para ensayos sucesivos. La dificultad aumenta conforme n toma valores mayores, pues n corresponde al número de imágenes anteriores que el sujeto debe recordar para responder adecuadamente al ensayo en curso (Kirchner, 1958).

De esta forma, para la tarea 1-back el participante necesita recordar la imagen anterior para responder al ensayo presente, y la imagen en curso para responder al ensayo siguiente. Una variante de la prueba N-back es la tarea dual n-back. En esta el sujeto debe recordar más de una propiedad de la imagen por ejemplo posición y color, o incluso implicar más de un sentido, presentándose por ejemplo, una figura y un sonido al mismo tiempo (Jaeggi et al., 2003).

La prueba de cubos de Knox, es una prueba de memoria visoespacial que resulta interesante ya que fue desarrollado como una prueba de inteligencia no verbal. Esta prueba consta de 4 cubos colocados en línea los cuales son señalados, utilizando un quinto cubo de menor tamaño, uno a la vez de acuerdo a una de 5 secuencias. Una vez realizada la secuencia por el investigador, el sujeto prueba debe de repetirla (Richardson, 2005). Las secuencias se denominan a, b, c, d y e, se ilustran a continuación (Figura 5).

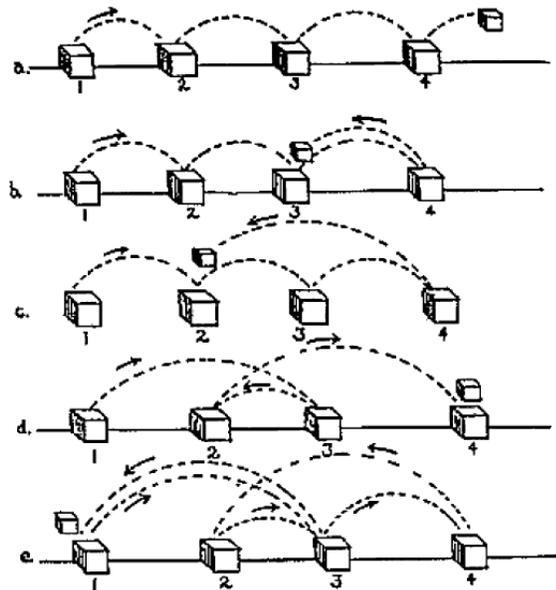


Figura 5. Prueba de cubos de Knox, se muestran las 5 secuencias propuestas por Knox (a, b, c, d, e) (tomado de Richardson, 2005).

Las secuencias de la prueba de Knox van de menor a mayor complejidad, y fueron estandarizadas utilizando una muestra analfabeta de alrededor de 12 años, de acuerdo a la cual, personas normales pueden reproducir la secuencia d, personas brillantes la secuencia e y personas con deficiencias presentan dificultades para reproducir la secuencia c, b y/o a, dependiendo el grado de deterioro. Actualmente hay versiones de la prueba de Knox en las que se modifican las secuencia, el número de cubos utilizados, entre otros atributos (Richardson, 2005).

Otras pruebas que requieren de memoria de trabajo y habilidades visoespaciales son la prueba de rotación de letras y la prueba de "dot matrix". En la prueba de rotación de letras, el participante ve una letra en diversas

orientaciones y debe de indicar si la imagen corresponde a una imagen normal o una imagen con una perspectiva de espejo. Después de ver la letra en diversas posiciones el participante debe de indicar la orientación de la parte superior de la letra en el orden de presentación como se indica en la parte inferior de la Figura 6A (Miyake et al., 2001).

Por su parte la prueba de Dot Matrix, consiste en responder si el conjunto de dos líneas, cada una en una diferente plantilla, corresponden a las líneas señaladas en la tercera plantilla, la respuesta es verdadero si corresponden o falso si no corresponden. Además después de cada respuesta aparece una cuadrícula con un punto, al final de una serie de presentaciones de líneas y puntos, el participante debe de indicar la posición de todos los puntos que observo en la cuadrícula como se ilustra en la parte inferior de la Figura 6B (Miyake et al., 2001).

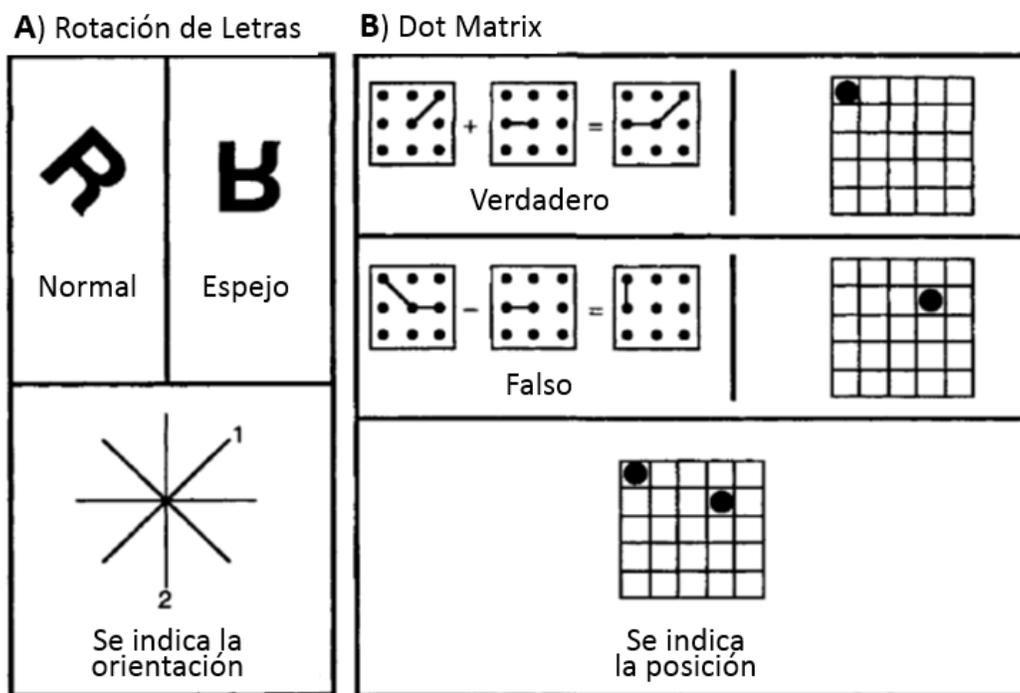


Figura 6. Se muestra A) la prueba de rotación de letras y B) la prueba de dot matrix (Miyake et al., 2001).

III.III Cubos de Corsi

La prueba de cubos de Corsi fue creada por Philip Corsi para valorar clínicamente la memoria visoespacial en pacientes con lobectomía del lóbulo temporal y privación de hipocampo. Diversos autores señalan que es una de las pruebas más utilizadas para evaluar memoria espacial (Corsi 1972, Milner, 1971; Orsini, 1994). Además, actualmente se reconoce como una de las tareas neuropsicológicas más importantes para el estudio de la memoria no verbal (Piccardi et al., 2008).

La prueba original consiste de nueve cubos negros de pulgada y cuarto distribuidos irregularmente en una superficie negra (Figura 7). Los cubos son señalados de uno en uno por el investigador en una secuencia particular, inmediatamente después, se le pide al sujeto de estudio que replique la secuencia (Milner, 1971). En el diseño original, primero se medía el “spatial span”, entendido como el máximo número de bloques que el sujeto puede señalar en orden correcto. Después se realizaban 24 ensayos, cada uno con el número de elementos que el sujeto había podido recordar (*spatial span*) más un elemento, a lo que se le denominaba el *supraspan*. Además, una secuencia era repetida cada tercer ensayo mientras que las demás secuencias no eran repetidas (Milner, 1971).

Wilde y Strauss (2002), con el objetivo de evaluar la equivalencia entre la prueba de retención de dígitos y la prueba de cubos de Corsi, compararon la ejecución entre la condición progresiva y condición regresiva en una muestra clínica de adultos jóvenes. Reportan que a diferencia de la prueba de retención de dígitos, no hay diferencias entre la condición progresiva y regresiva de cubos de Corsi, en donde además un tercio de la muestra presentó mejor desempeño para la condición regresiva. Dados los resultados reportados, Wilde y Strauss (2002) finalmente sugieren cuestionar la validez de la prueba de cubos de Corsi en regresión para evaluar MT visoespacial.

De manera similar, Kessels et al. (2008), compararon el desempeño de adultos mayores, durante la ejecución del paradigma de retención de dígitos (WAIS-III) y de la prueba de cubos de Corsi en su versión de progresión y de

regresión, argumentando que se evalúa en progresión el mantenimiento, mientras que en regresión además del mantenimiento, la manipulación de la información. Contrario a lo hipotetizado, tampoco encontró diferencias en el desempeño de la ejecución para la tarea de cubos de Corsi en progresión en comparación a cubos de Corsi en regresión, sugiriendo que ambos procesos subyacen en los mismos procesos cognoscitivos. Sin embargo, sí encontró diferencias en el desempeño para la prueba de progresión, en comparación a la prueba de regresión, para la prueba de retención de dígitos (Kessels et al., 2008).

Por su parte, Rudkin (2007) sugiere que la prueba de cubos de Corsi evalúa memoria de trabajo visoespacial debido a que la tarea requiere recordar el orden secuencial de los cubos, lo que involucra codificación, mantenimiento de la secuencia de los objetos y del orden en el que aparecen.

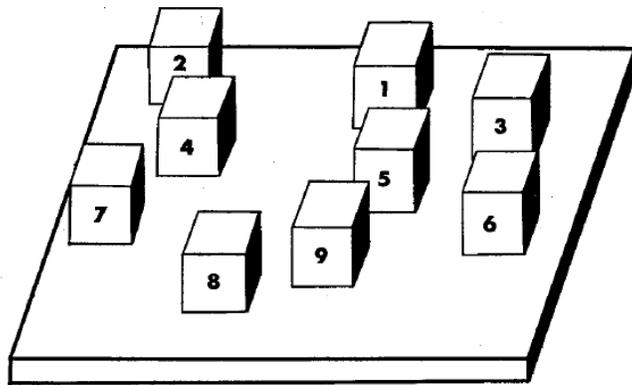


Figura 7. Tablero original de los cubos de Corsi. Los cubos se encuentran numerados a la vista del examinador, pero no a la vista del sujeto (tomado de Milner, 1971).

En el Laboratorio de Correlación Electroencefalográfica y Conducta del Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara, se desarrolló una versión computarizada de los cubos de Corsi denominada CubMemPC. Ésta consiste en 10 cubos de color azul colocados irregularmente en una superficie color gris con proporciones parecidas a la versión de escritorio (Guevara et al., 2014).

CubMemPC simula los toques del experimentador a cada cubo, iluminando uno a la vez con luz amarilla hasta completar la secuencia; el último cubo se ilumina con luz verde. Una vez mostrada secuencia, el sujeto debe repetirla ya sea

en el mismo orden o en orden inverso. Para seleccionar un cubo se puede hacer uso de un monitor táctil o de un mouse; en donde de manera similar a la presentación, durante la repetición de la secuencia, cada cubo se ilumina con una luz amarilla incluyendo también el último cubo seleccionado (Guevara et al., 2014). Además, este programa arroja resultados conductuales confiables de manera automática, facilitando la aplicación de la prueba y el registro electroencefalográfico simultáneo, entre otras ventajas (Figura 8).

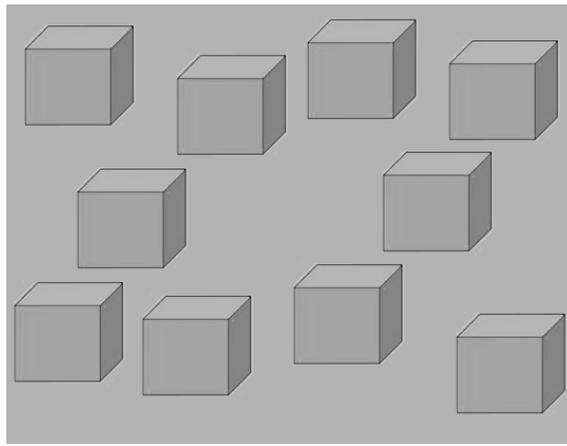


Figura 8. Ventana principal del programa CubMemPC, en donde se muestran diez cubos en la pantalla mismos que se iluminan uno a la vez, para formar una secuencia (de longitud entre dos y diez cubos).

IV. BASES NEURALES DE LA MI Y LA MT

IV.I Corteza Prefrontal

La corteza prefrontal (CPF) se considera una estructura altamente evolucionada, misma que subyace a las funciones que distinguen al ser humano de otros seres vivos como inteligencia, planeación, monitoreo de acciones, creatividad, ejecución de actividades complejas, toma de decisiones, juicio ético y moral, entre otras; además de ser fundamental para la MT y MI que son de especial interés en el presente estudio (Tirapu, Molina, Lago & Ardila, 2012; Fuster, 2008).

Se distingue a la CPF, por recibir abundantes conexiones reciprocas con el núcleo medio dorsal del tálamo, siendo este un criterio para la identificación de la corteza prefrontal en distintas especies (Fuster, 1997). Por otro lado, aunque se destacan las conexiones de la corteza prefrontal con las del tálamo medio dorsal, esta se conecta prácticamente con todo el cerebro, principalmente: tallo cerebral, ganglios basales, sistema límbico y diversas regiones del tálamo (Fuster, 2001). Además, la CPF tiene amplias conexiones internas, siendo la corteza de asociación del lóbulo frontal.

Anatómicamente la CPF está localizada en la parte más anterior del lóbulo frontal, ocupando en humanos una mayor proporción de la corteza en comparación a otras especies (Fuster, 1995). Corresponde a las áreas de Brodmann 8, 9, 10, 11, 12, 13, 24, 32, 46 y 47. Tiene tres grandes divisiones: lateral, medial y orbital (Fuster, 2001) (Figura 9).

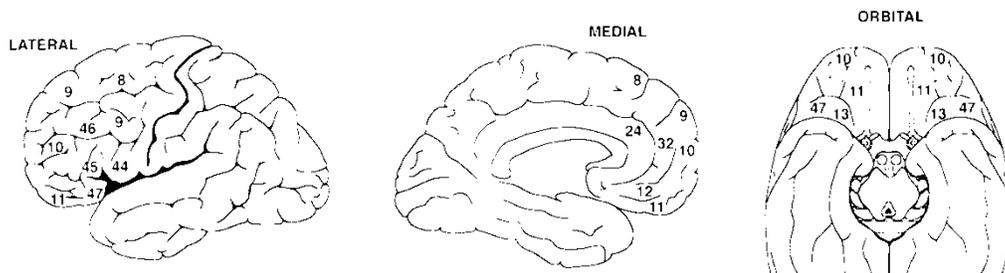


Figura 9. Vistas lateral, medial y orbital de la CPF numeradas acorde al mapa de Brodmann (tomado de Fuster, 2001).

Se asocia particularmente a las regiones de la CPF orbital y medial con el sistema límbico, mientras que la región lateral, área desarrollada altamente en humanos, provee el soporte cognoscitivo a la organización temporal del comportamiento, el lenguaje y el razonamiento. En este sentido, la corteza prefrontal lateral (CPFL), es la que se ha encontrado más asociada a la memoria de trabajo, la cual abarca la corteza de la convexidad lateral del lóbulo frontal, correspondiendo a las áreas 8, 9, 10 y 46 de Brodmann (Fuster, 2008).

Petrides (2005) subdividió anatomofuncionalmente a la corteza prefrontal lateral en dos regiones, la CPF dorsolateral (CPF DL) y la CPF ventrolateral (CPF VL), en función de las distintas operaciones mentales involucradas en la memoria de trabajo, tales como el mantenimiento y manipulación de información, así como la comparación entre estímulos. En conjunto, diversos estudios de lesión y neuroimagen señalan que la región medial-ventrolateral de la CPF, es un área asociada principalmente con el mantenimiento activo de información; de manera similar, se sugiere que la región medial-dorsolateral de la CPF, conforma un sistema con la capacidad de mantener la información para su monitoreo y manipulación (Petrides, 2005; Tirapu et al., 2012).

Asimismo, recientemente ha surgido mayor interés en el estudio de la corteza frontopolar. Esta es la región más anterior del lóbulo frontal correspondiendo principalmente con el área 10 de Brodmann (Christoff & Gabrieli, 2000). Se ha visto involucrada con el acceso de información de memoria de largo plazo, así como con la monitorización y manipulación de la información generada internamente (Buckner & Koutstaal, 1998; Christoff & Gabrieli, 2000).

Al igual que Petrides (2005) y Christoff (2000), diversos autores han estudiado el papel de la CPF en la MI y MT. Muchos de estos trabajos favorecen la distinción entre ambos procesos al observar mayor participación de subregiones específicas para cada proceso; incluso, algunos de estos trabajos, más que dicotomizar a la memoria de corto plazo en inmediata y de trabajo, distinguen y estudian una serie de procesos involucrados como: actualización, mantenimiento y

manipulación de información; monitoreo y evaluación de información generada interna y externamente; procesamiento de subobjetivos, entre otros procesos.

Por otro lado, si bien se ha estudiado ampliamente la participación de la corteza prefrontal en la memoria inmediata y de trabajo, también se ha sugerido que ambos conceptos no están claramente definidos (Cowan, 2008), lo cual puede observarse en los métodos de evaluación empleados, en donde por ejemplo Rudkinet et al. (2007) distinguen a la tarea de cubos de Corsi como un paradigma de evaluación de MT visoespacial, mientras que Park et al. (2002) utilizan cubos de Corsi tanto en su versión en progresión como en regresión para evaluar MI (en un estudio en el que busca evaluar las diferencias entre MI y MT).

Además, se ha propuesto que características individuales como la inteligencia fluida, afectan en gran medida los recursos neurobiológicos que subyacen a cada proceso, en donde tareas de MI para algunos sujetos, representan tareas de MT para otros (Engle, 1999). De esta forma, resulta muy importante para el presente trabajo, examinar de manera sistemática la metodología empleada en las diversas investigaciones.

Fletcher y Henson (2001) realizaron una revisión de estudios de memoria de corto plazo, en los que se utilizaron técnicas de resonancia magnética funcional (RMF) y de tomografía por emisión de positrones (TEP). Distinguieron las tareas de mantenimiento de información de las tareas de manipulación. Argumentan que el mantenimiento es entendido como el proceso de conservar información en la mente en la ausencia de estímulos externos, lo que correspondería al funcionamiento de sistemas esclavos (o subsistemas) acorde al modelo de Baddeley; por otro lado la manipulación de información se refiere a la reorganización de información que está siendo mantenida y que correspondería al ejecutivo central acorde al modelo de Baddeley (1974).

De esta manera, reportan que se han observado activaciones de la corteza parietal derecha, corteza premotora dorsal derecha, y corteza ventrolateral derecha durante la ejecución de la tarea espacial Sternberg, la cual requiere del mantenimiento de información. También reportan activaciones similares durante la

ejecución de la tarea de *N-back*, la cual requiere de mantenimiento y actualización de información, siempre y cuando n sea mayor a 0. De igual forma indican, que estudios muestran activaciones en corteza parietal, corteza premotora dorsal y corteza ventrolateral, pero del hemisferio izquierdo, durante la ejecución del paradigma Sternberg en su versión verbal, y que las tareas más complejas como la prueba de Wisconsin, matrices progresivas de Raven, y pruebas de razonamiento inductivo, muestran activaciones principalmente en la corteza frontal anterior y dorsolateral. Por lo tanto, proponen que la CPF VL está asociada a la actualización y mantenimiento de información; mientras que la CPF DL a la selección, manipulación y monitoreo de información; y la CPF anterior, al procesamiento de subobjetivos (Fletcher, & Henson, 2001).

Similarmente, D' Esposito et al. (1999), estudiaron el papel de la corteza prefrontal lateral en el mantenimiento y manipulación de información. Se realizó el paradigma de respuesta con retraso en dos condiciones; la primera consistía en conservar mentalmente una serie de letras durante un tiempo de retraso, y la segunda, en ordenar la secuencia de letras en orden alfabético. Para inferir su actividad cerebral se utilizó la técnica de RMF relacionada a eventos. Observaron activación tanto de la CPF ventrolateral (AB: 44, 45, 47) como dorsolateral (AB: 9, 46) durante ambas condiciones de la tarea con retraso, sin embargo, reportan que fue mayor la activación de la CPF dorsolateral para la condición de la tarea que requería el ordenamiento de letras.

Por su parte, Chirstoff y Gabrieli (2000), propusieron un modelo jerárquico de organización de la CPF, en el cual la CPF dorsolateral (AB: 9, 46) y frontopolar (porción lateral del AB10, incluyendo las áreas intermedias de su frontera lateral 10/46, 10/9) están muy implicadas en tareas de razonamiento y memoria. En su revisión se incluyeron estudios de neuroimagen como resonancia magnética funcional y tomografía por emisión de positrones, en los que se realizaron tareas de razonamiento y de recuperación episódica; de igual forma, hacen mención de estudios de lesión. Mencionan que entre los paradigmas que reportan activación de la corteza frontopolar están las torres de London, prueba de Wisconsin,

razonamiento inductivo y probabilístico, matrices progresivas de Raven así como tareas de memoria que requieren recuperación de información de memoria episódica y la evaluación de la misma, tales como tareas de evocación libre y procedimientos complejos de recuperación. De esta forma, se sugiere una disociación anatomofuncional entre la evaluación de la información que proviene de fuentes externas, en donde la CPF dorsolateral juega un papel preponderante, y la evaluación de información generada internamente, en donde interviene principalmente la corteza frontopolar.

Por otro lado, Braver y Bongiolatti (2002) sugieren que la activación de la corteza frontopolar, está asociada en gran medida al procesamiento de subobjetivos. En donde un subobjetivo es descrito como una tarea que debe ser completada en función de lograr un objetivo mayor. Realizaron un estudio de RMF en el que los participantes ejecutaron dos tareas de tipo respuesta con retraso.

En la primer condición control, los sujetos monitoreaban la presencia de una palabra específica concreta, por ejemplo lima, seguida de una palabra abstracta, por ejemplo fe; en la segunda condición control, se daba una clasificación semántica de la palabra, sin requerir aparente intervención de memoria de trabajo; en la condición de prueba, que tenía como objetivo evaluar la activación cerebral asociada al procesamiento de subobjetivos, los sujetos monitoreaban la presencia de cualquier palabra concreta, seguida de cualquier palabra abstracta. De esta manera, se observó que una región de la corteza frontopolar mostró mayor activación durante la tarea que requería del procesamiento de subobjetivos, sin mostrar dicho patrón durante ambas tareas control, ni siendo modulada acorde a las demandas de manipulación y mantenimiento activo. En contraparte, la activación de CPF dorsolateral izquierda, fue modulada de acuerdo a las demandas de manipulación y mantenimiento activo de la tarea, y no fue afectada por el procesamiento de subobjetivos. Por otro lado, la CPF ventral izquierda mostro activación durante la clasificación semántica y no fue modulada por las demandas de la tarea (Braver, & Bongiolatti, 2002).

Tabla 1. Resumen de estudios de procesos implicados en MI y MT, asociados a la activación de la CPF VL, la CPF DL, y Corteza Frontopolar.

Estudio	Procesamiento asociado a la CPF VL	Procesamiento asociado a la CPF DL	Procesamiento asociado a la C. Frontopolar
Petrides, 2005	Mantenimiento activo	Monitoreo y manipulación	
	Estudios de registro unitario en monos y comparación citoarquitectónica de la CPF lateral entre monos y humanos.		
	Tareas condicionales asociativas, tareas de reconocimiento, tareas múltiples, entre otras.		
D'Esposito y cols., 1999	Mantenimiento y manipulación de información	Manipulación de información	
	fMRI relacionada a eventos		
	Respuesta con retraso, de evocación de letras	Respuesta con retraso con reordenamiento	
Christoff y Gabrieli, 2000	Mantenimiento de pocos elementos	Evaluación de la información proveniente externa	Evaluación de información generada internamente
	fMRI y PET		
	Torres de London, prueba de Wisconsin, matrices progresivas de Raven, tareas de evocación libre, entre otros		
Fletcher y Henson, 2001	Actualización y mantenimiento de información	Selección, manipulación y monitoreo de información	Procesamiento de subobjetivos
	fMRI, PET		
	Tarea de Sternberg	N-back (n > 0)	Wisconsin, matrices de Raven, y razonamiento ind.
Braver y Bongiolatti, 2002	Mantenimiento activo	Manipulación y mantenimiento activo	Procesamiento de subobjetivos
	fMRI		
	Clasificación semántica de palabras	Tareas de tipo respuesta con retraso	

IV.II Corteza Parietal

Las funciones de la corteza prefrontal dependen de sus conexiones con otras estructuras cerebrales, de tal forma que la comprensión de sus funciones cognitivas requiere del estudio de sus conexiones (Fuster, 2001). En este sentido, la corteza parietal posee amplio número de conexiones con la CPF estando implicada, entre otros procesos, en la memoria inmediata y de trabajo de tipo visoespacial.

La corteza parietal juega un papel importante en la integración de información somática, formando así una autopercepción del cuerpo, y de la asociación del cuerpo con el espacio extrapersonal, además de ser un área de procesamiento multisensorial. Está delimitada en su parte anterior por el surco central o cisura de Rolando, en su región ventral por el surco subparietal, y caudalmente por el surco occipito-parietal (Zilles, Eickhoff, & Palomero-Gallagher, 2003). Ocupa aproximadamente el 20% de la corteza cerebral humana y se divide en dos grandes regiones: la corteza somatosensorial y la corteza parietal posterior (Behrmann, Geng, & Shomstein, 2004).

La corteza somatosensorial primaria (SI) se localiza de manera caudal al surco central, en el giro postcentral correspondiendo a las áreas de Brodmann 1, 2, 3a y 3b. Las áreas 1 y 3b reciben información principalmente de receptores de la piel, mientras que las áreas 2 y 3a reciben principalmente de músculos y articulaciones. Sin embargo, estas cuatro regiones están interconectadas de manera que participan conjuntamente en el procesamiento de alto nivel de información somatosensorial (Kandel, 2000).

La corteza somatosensorial secundaria (SII) se encuentra en la parte superior de la fisura lateral. Recibe proyecciones preponderantemente de la región SI, y envía proyecciones a la corteza insular que inerva regiones del lóbulo temporal (que se sugiere, son importantes para la memoria táctil) (Kandel, 2000).

También encontramos áreas corticales somatosensoriales de asociación en la corteza parietal posterior, correspondiendo con las áreas de Brodmann 5 y 7. Estas áreas reciben información de SI y del área pulvinar, además de estar

conectadas bilateralmente con el cuerpo caloso. El área 5 integra información táctil de los mecanorreceptores de la piel con información propioceptiva, mientras que el área 7 integra información estereognósica y visual. Similarmente, la corteza parietal posterior recibe información de manera directa de la corteza visual primaria por medio de la vía dorsal, misma que participa en el procesamiento espacial y de profundidad visual, siendo importante para la planeación motora (Kandel, 2000) (Figura 10).

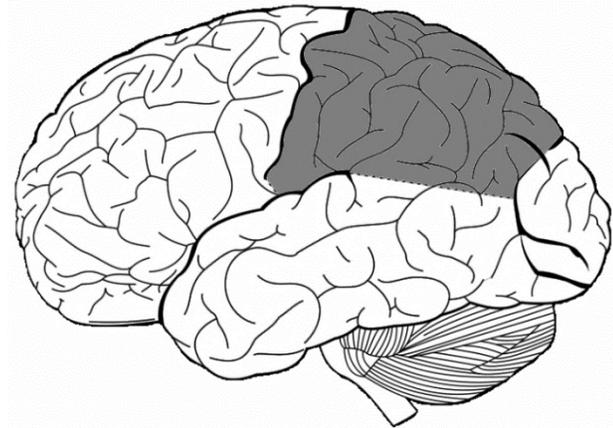


Figura 10. La zona sombreada marca la región correspondiente a la Corteza Parietal (modificado de Gray, 1989).

IV.III Conexiones entre la corteza frontal y la corteza parietal

Existen abundantes conexiones entre la corteza parietal y la corteza frontal, una de las principales es el fascículo longitudinal superior (FLS). El FLS se localiza a lo largo del borde lateral superior del putamen, y se compone por un haz arqueado de fibras largas que se dividen en su parte posterior, y que conectan el lóbulo frontal con los lóbulos parietal, occipital y temporal (Nieuwenhuys, 2009) (Figura 11).

El FLS se divide en cuatro subcomponentes:

1. El primer componente, el componente dorsal, es el FLS I, se localiza en la región superior de la materia blanca de los lóbulos frontal y parietal, y se extiende desde la región medial y dorsal parietal hasta la región medial y dorsal

frontal correspondiendo al área motora suplementaria y la premotora dorsal. Contribuye a la regulación de aspectos de alto orden del comportamiento motor, de manera que lesiones en la región dorsal premotora, resultan en graves deficiencias en tareas en las que el acto motor es elegido de acuerdo a reglas condicionales o de asociación (Makris et al., 2005).

2. El segundo componente, el FLS II, es el más prominente del FLS, se encuentra en el núcleo central de la materia blanca por encima de la ínsula, y se extiende desde la región caudal inferior parietal, correspondiendo al giro angular, hasta las regiones laterales caudales prefrontales, es decir, la región dorsolateral frontal. Contribuye a la percepción del espacio visual, así como a regular el foco de atención visual en el espacio. En este sentido, se ha reportado que daño al FLS II provoca desordenes en la memoria de trabajo visoespacial (Makris et al., 2005; Preuss, & Goldman-Rakic, 1989).

3. El tercer componente, el componente ventral, es el FLS III, se sitúa en la materia blanca del opérculo parietal y frontal, y se extiende desde la parte rostral del lóbulo parietal inferior correspondiendo al giro supramarginal hasta la parte inferior lateral del lóbulo frontal correspondiendo a las regiones premotora ventral y prefrontal. Algunas de las funciones de este fascículo son: proveer información de alto orden de tipo somatosensorial; integrar información visoespacial; contribuir al monitoreo de acciones motoras orofaciales y de la mano, así como a la realización de tareas de memoria de trabajo; también juega un papel importante en la articulación del lenguaje (Makris et al., 2005; Preuss, & Goldman-Rakic, 1989).

4. El cuarto componente, el fascículo arqueado (FA), proviene de la parte caudal del giro temporal superior, hace un arco alrededor de la parte caudal de la fisura de Silvio y se dirige a la corteza prefrontal lateral junto con las fibras del FLS II. Esta vía es importante para funciones propias del lenguaje y conduce información auditiva espacial, contribuyendo así a la localización de fuentes de sonidos. (Makris et al., 2005).

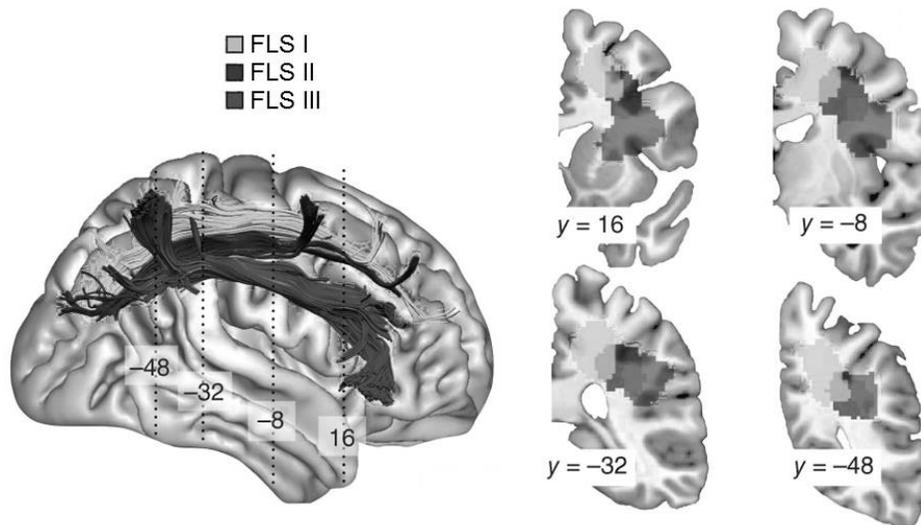


Figura 11. Se observan tres subcomponentes del fascículo longitudinal superior: FLS I, FLS II, FLS III. En la parte izquierda se observa la vista lateral derecha, y en la parte derecha se observan 4 vistas coronales en el plano “y” correspondiente (modificado de Thiebaut de Schotten et al., 2011).

Se ha reportado que a mayor volumen del FLS II derecho es menor el tiempo de ejecución en tareas de tipo visoespacial en el hemisferio izquierdo (Thiebaut de Schotten et al., 2011). Similarmente, se ha sugerido que la asimetría anatómica de las conexiones parietofrontales, es un indicador del grado de especialización del hemisferio derecho, y puede funcionar como un predictor del desempeño en tareas de tipo visoespacial (Thiebaut de Schotten et al., 2011).

Tanto la corteza prefrontal dorsolateral como la corteza de asociación parietal posterior, son áreas de asociación que están densamente interconectadas, compartiendo proyecciones a numerosas regiones corticales y subcorticales (Kandel, 2000). En este sentido, se ha observado la coactivación de regiones parietales y prefrontales dorsolaterales, así como un incremento en su activación ante aumentos de la demanda en tareas de memoria de trabajo (Klingberg, O’Sullivan, & Roland, 1997). Asimismo, se ha sugerido que circuitos reverberantes subyacen la memoria activa, al mantener una actividad neural persistente en ausencia de estímulos externos. De estos, se destaca como mecanismo que subyace la memoria de trabajo visoespacial, al circuito frontoparietal (Wang, 2001), que es de particular interés en el presente proyecto.

V. REGISTRO ELECTROENCEFALOGRÁFICO (EEG)

El registro electroencefalográfico (EEG) refleja la actividad cerebral, y permite estudiar la relación entre la conducta y el sistema nervioso sin intervención invasiva (Coles & Rugg, 1995). De esta manera, el registro electroencefalográfico, puede ser definido como variaciones de voltaje en un rango de amplitud de entre -100 y +100 microvolts, en frecuencias que generalmente van de 0.5 hasta 50 hertz cuyo origen es la actividad bioeléctrica cerebral de ondas lentas (Guevara et al., 2011).

Los antecedentes de la electrofisiología radican en Luigi Galvani, Alessandro Volta, George Ohm, y Michael Faraday cuyas contribuciones permitieron la comprensión de las propiedades eléctricas además del reconocimiento de que el tejido vivo también posee electricidad (Collura, 1993). En 1875, Richard Catón realizó el primer registro electroencefalográfico, al medir la actividad eléctrica utilizando un galvanómetro y electrodos implantados en la superficie cerebral de conejos, monos y gatos. Pero fue Hans Berger el primero en realizar registro electroencefalográfico en humanos hasta 1924, al colocar un electrodo en el cuero cabelludo, amplificando la señal y graficar las oscilaciones de voltaje en el tiempo (Collura, 1993).

Se registran cambios eléctricos cerebrales colocando electrodos superficiales sobre el cuero cabelludo. Una suposición básica es que existe una relación consistente entre las posiciones superficiales y las estructuras cerebrales por debajo. Cabe mencionar que la colocación de estos electrodos está definida por el sistema 10-20, el cual es un método internacionalmente estandarizado de colocación de electrodos que tiene como objetivo que los registros sean comparables y reproducibles (Homan, Herman, & Purdy, 1987).

A grandes rasgos, el voltaje (V) puede ser entendido como la diferencia de potencial para el flujo de corriente eléctrica entre dos puntos y su unidad es el volt; por su parte, la corriente eléctrica (I), corresponde al flujo de carga eléctrica (que depende del número de partículas cargadas) por unidad de tiempo, cuya unidad

es el ampere y finalmente la resistencia eléctrica (R), corresponde a la oposición al movimiento de cargas dada por el medio conductor. La relación entre estas propiedades se define en la ley de Ohm, la cual indica que el voltaje, es igual a la corriente por la resistencia ($V = I \cdot R$). Otro concepto de interés es el de dipolo eléctrico, el cual corresponde al sistema formado por un par de cargas de misma magnitud pero signo contrario en un medio dieléctrico (mal conductor de electricidad).

La actividad eléctrica cerebral tiene dos principales fuentes asociadas a neuronas. La primera son los potenciales de acción (PA), que son picos de alta amplitud de voltaje pero de latencia muy corta, que viajan del cuerpo de una neurona a la terminal del axón, permitiendo con ello la comunicación entre neuronas, estos cambios son del tipo todo o nada. La segunda fuente, son los potenciales postsinápticos (PPS), que son variaciones de voltaje continuas que aumentan o disminuyen de manera paulatina, son producidos por la apertura o cierre de canales en la membrana de la célula postsináptica (Luck, 2005).

Cuando se colocan electrodos superficiales, difícilmente se detectan potenciales de acción, debido, entre otras razones, a su corta latencia y al arreglo físico de los axones. Además, si bien dos axones paralelos condujeran un potencial de acción exactamente al mismo tiempo, estos potenciales podrían ser sumados y conforme mayor sea el número, mayor posibilidad tendrían de ser registrados en la superficie; pero por otro lado, si este potencial estuviera desfasado un poco uno de otro, en el momento en el que la corriente estuviera fluyendo en una dirección en el primer axón, la corriente en el segundo axón estaría fluyendo en la dirección contraria para esa misma posición, de manera que las señales se cancelarían unas con otras, y los voltajes observados superficialmente tenderían a cero. Además, mientras la duración del PA es de alrededor de un milisegundo, los PSP tienden a durar hasta cientos de milisegundos, y aunque pueden ocurrir de manera paralela unos con otros, al ser mayor su duración, y si se cumplen ciertas condiciones, los PSP son sumados

unos con otros, siendo altamente probable observarlos con registros superficiales (Luck, 2005).

Resulta difícil inferir las estructuras que dan origen a la actividad electroencefalográfica pero explorando los fenómenos biofísicos que pueden originar esta actividad, tenemos que cuando un neurotransmisor excitador, es liberado en las dendritas apicales de células piramidales corticales la corriente fluye del espacio extracelular al espacio intracelular en esta región, resultando en una carga neta negativa en el espacio extracelular. Además, para completar el circuito, la corriente fluirá del espacio intracelular al espacio extracelular en la región correspondiente al cuerpo de las neuronas y las dendritas basales, resultando en una carga neta positiva en este espacio extracelular. De esta manera, se formará un pequeño dipolo eléctrico, resultante de las cargas negativas por un lado y las cargas positivas por el otro, ambas en el espacio extracelular (Luck, 2005).

La actividad eléctrica de un pequeño dipolo, es muy poca como para ser registrada superficialmente, sin embargo, estos dipolos minúsculos pueden sumarse unos con otros si tienen un arreglo paralelo (o con orientación similar) y si se traslapan en el tiempo, lo que resultaría en un gran dipolo equivalente. El dipolo equivalente si es de gran magnitud tiene alta posibilidad de ser registrado utilizando un electrodo superficial. De igual forma, hay que considerar que el voltaje registrado varía no únicamente dependiendo de la magnitud del dipolo equivalente, sino también de acuerdo a su orientación y posición respecto a la del electrodo, además de las propiedades de la estructura superficial como lo son su forma y resistencia (Luck, 2005) (Figura 12).

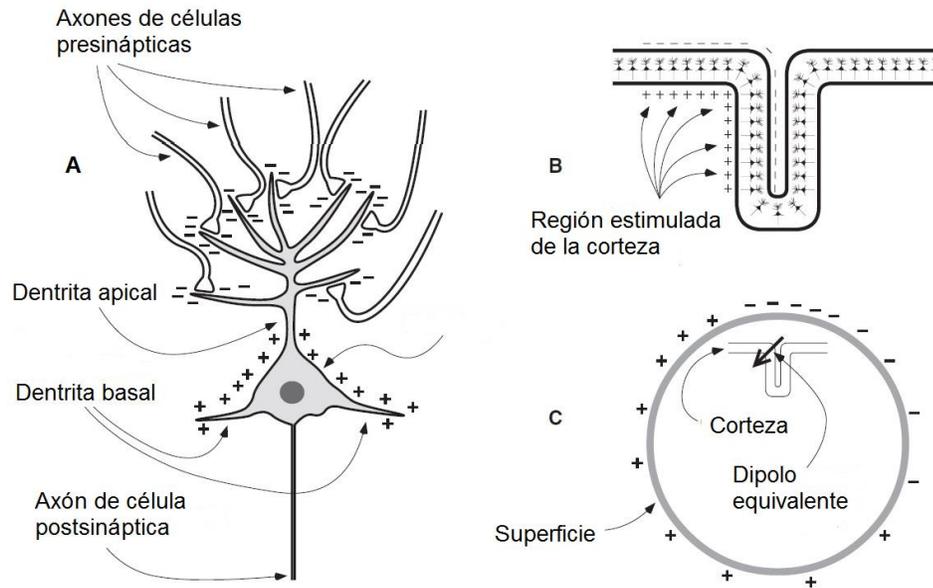


Figura 12. Se observan los principios bioeléctricos que subyacen la actividad del registro electroencefalográfico. A) Esquema de una célula piramidal mientras se produce un pequeño dipolo, a causa de la entrada de iones positivos en la región apical ante la apertura de canales. B) Esquema de una región de la corteza con una serie de dipolos alineados de células piramidales activas. C) La suma de los dipolos forma un dipolo equivalente; la posición y orientación de éste, determina la magnitud y distribución de los voltajes registrados superficialmente (tomado de Luck, 2005).

Además, se ha sugerido que la actividad electroencefalográfica también proviene de la glía, misma que presenta un potencial de membrana mantenido por la concentración constante de iones. Sin embargo, la liberación de potasio ante la despolarización de la membrana en las neuronas, podría afectar de manera local la polaridad de la membrana glial, lo que desencadenaría otros cambios eléctricos (Niedermeyer, 2005).

De acuerdo a lo anterior, si la actividad neural varía, varía también el voltaje registrado superficialmente permitiendo explorar así la actividad cerebral. Estas oscilaciones del voltaje producen una señal continua en la que destacan dos parámetros: amplitud y frecuencia. La amplitud se refiere a la potencia registrada en un momento dado, se mide en microvoltios (μV). La frecuencia se refiere a la cantidad de ciclos (de la onda cerebral eléctrica) que se presentan en un segundo, se mide en hertz (Hz).

Asimismo, debido a que las oscilaciones eléctricas, son un fenómeno general de la actividad neuronal, el uso del análisis espectral, es uno de los acercamientos más importantes, para el estudio del procesamiento de información en humanos (Schack et al., 2001). La transformada rápida de Fourier, es un algoritmo que separa la señal EEG en su espectro de frecuencia, permitiendo calcular la amplitud de cada componente y posteriormente agruparlos en ciertas bandas de frecuencia (Guevara, Hernández, & Sanz, 2010).

En los últimos años el uso de sistemas computacionales en el análisis de señales encefalográficas, ha facilitado el desarrollo de trabajos con medidas cuantitativas como lo es la correlación electroencefalográfica (rEEG). La correlación, es un índice matemático que permite determinar la covariación entre dos variables, tomando valores desde -1 hasta 1, en donde -1 significa correlación máxima negativa, 1, correlación máxima positiva y 0 ausencia de correlación (Guevara, Hernández-González, & Sanz, 2010). De esta forma, la rEEG es un índice que determina el grado de semejanza entre dos señales como una función del tiempo considerando la relación de fase y polaridad pero no la amplitud. Por ello, la rEEG ha sido utilizado para inferir la posible relación funcional entre diferentes regiones del cerebro (Guevara, Hernández-González, & Sanz, 2010).

Por otro lado, al igual que la rEEG, la coherencia EEG (cohEEG) establece la posible relación funcional entre dos regiones cerebrales. Sin embargo, dos de las diferencias entre ambos índices, es que la coherencia sí toma en cuenta la amplitud de la señal, y no toma en cuenta la polaridad de la señal. Además, la cohEEG toma valores entre 0 y 1, siendo 1 máxima cohEEG (Guevara, Hernández-González, & Sanz, 2010).

Similarmente, los cambios de frecuencia de las ondas EEG, reflejan el aumento o decremento de la sincronía de grupos de neuronas en cierta banda. La desincronización relacionada a eventos (DRE) es definida como el porcentaje de decremento en una potencia de banda (Klimesch, Doppelmayr, Russegger, & Pachinger, 1996) y la sincronización relacionada a eventos (ERS), como el

porcentaje de aumento de potencia (Tsoneva, 2011), ambas durante un intervalo prueba en relación a un intervalo control.

V.I Ritmos electroencefalográficos

El ritmo electroencefalográfico es actividad sincrónica, con un rango de frecuencias y localización encefálica particulares, mismo que predomina ante una condición fisiológica (Harmony et al., 1991). Estos ritmos subyacen tanto funciones biológicas como procesos conductuales particulares (Guevara, Hernández-González, & Sanz, 2010). Comúnmente se distinguen cinco ritmos:

1) Ritmo Delta

Son oscilaciones que van de 1 a 3.5 o 4 Hz, con una amplitud alrededor de los 100 a los 200 μ V. Se distinguen dos grandes generadores de ondas delta: la corteza y el tálamo. Estos ritmos se observan durante el sueño lento, y se ha descrito que aparecen durante estados profundos de relajación como la meditación de yoga, así como durante actividad mental con alta concentración (Guevara, Hernández-González, & Sanz, 2010).

2) Ritmo Theta

Estas oscilaciones están entre los 4 y 7 o 7.5 Hz, con una amplitud cerca de los 70 μ V. Estas ondas se observan bajo estrés emocional así como durante la meditación de yoga y las primeras fases del sueño de ondas lentas. Se presenta también en regiones parietales y temporales de niños y en personas con edema cerebral (Guevara, Hernández-González, & Sanz, 2010).

3) Ritmo Alfa

Este ritmo ocurre entre los 8 y 13 Hz, con una amplitud cercana en adultos a los 50 μ V. Aparecen comúnmente durante estados de vigilia relajados, favoreciéndose su aparición cuando se tienen los ojos cerrados. Se incrementan también durante la respuesta a estímulos visuales. Este ritmo desaparece durante el sueño de forma paulatina, de manera que en las últimas fases del sueño de ondas lentas, no se observa; similarmente, se atenúa con la apertura de los ojos o cuando se

enfoca la atención hacia una actividad mental específica (Guevara, Hernández-González, & Sanz, 2010).

4) Ritmo Beta

Este ritmo oscila entre los 12.5 o 13 Hz hasta 25 o incluso 30 Hz, con una amplitud de entre 20 y 30 μ V. Estas ondas aparecen durante la activación del sistema nervioso central, así como con la apertura de los ojos en vigilia. También se han registrado en estados de tensión y después de la administración de barbitúricos y sedantes. Además, es el ritmo que más frecuentemente se reporta en regiones frontales, siendo la actividad dominante en regiones anteriores y centrales del cráneo (Guevara, Hernández-González, & Sanz, 2010).

5) Ritmo Gamma

Este ritmo oscila entre 30 y 100 Hz, siendo oscilaciones rápidas que tienen como frecuencia promedio 40 Hz, con amplitud entre 10 y 20 μ V. Estas ondas se inducen ante el aumento de atención, percepción y alertamiento, así como durante la realización de tareas motoras complejas, con mayor aparición en la región frontocentral. Se presentan en la corteza cerebral y en el tálamo, durante la vigilia y durante el sueño de ondas lentas (Guevara, Hernández-González, & Sanz, 2010).

V.II Actividad EEG durante tareas de MI Y MT

“Numerosas investigaciones en humanos y primates no humanos, favorecen la idea de que la MT subyace en circuitos neuronales que involucran a la corteza prefrontal y áreas de asociación posteriores” (Sarnthein, Petsche, Rappelsberger, Shaw, & von Stein, 1998). Asimismo, se ha sugerido que el registro electroencefalográfico es un método útil para estudiar las redes neuronales que subyacen a la MT (Sauseng et al., 2004).

Hasta el momento no existen antecedentes en la literatura (de nuestro conocimiento), en los que se evalúe o compare explícitamente, a la MT con la MI, y al mismo tiempo se analice la correlación o coherencia EEG inducida por estos

procesos. Sin embargo, sí existen numerosos estudios en donde se reporta este análisis de manera aislada para uno u otro tipo de memoria. Cabe recordar que las diferencias entre MI y MT están en discusión, e incluso diversos autores no hacen distinción entre estas. Por lo anterior, es importante considerar cómo conciben los autores a una u otra memoria en estos estudios, al igual que las condiciones de las tareas empleadas.

Como antecedente inmediato realizado en el laboratorio de electroencefalografía y conducta contamos con el trabajo de Hevia (2014), quien analizó la rEEG durante la ejecución de una tarea de MT visoespacial. El objetivo de su estudio fue caracterizar esta correlación en tres diferentes grupos: uno de niños, otro de adolescentes y un último de adultos jóvenes. Si bien se encontraron diferencias significativas principalmente entre el grupo de niños en relación a los otros dos grupos para distintas correlaciones, es de interés para el presente estudio, que también se reportaron diferencias significativas entre la condición basal y durante la ejecución de la tarea de MT (cubos de Corsi en regresión) para las bandas alfa1, alfa2, beta1, beta2, theta y gamma, entre ciertas derivaciones para ciertos grupos, lo que favorece la idea, de que la rEEG es un indicador útil de los diversos procesamientos cerebrales realizados ante diversas condiciones, una de las cuales es MT.

Así como Hevia (2014) reporta diferencias en la rEEG durante la ejecución de cubos de Corsi, también se han reportado diferencias en la rEEG de acuerdo al género, siendo mayor la correlación interhemisférica (C3-C4) para mujeres y mayor la correlación intrahemisférica (F4-C4) para hombres en estado basal (Corsi-Cabrera, Arce, Ramos, Guevara, 1997). Además Corsi-Cabrera et al. (1997) reportan que en estado de reposo hay mayor correlación intrahemisférica (F3-P3, F4-P4, C3-P3, C4-P4) para sujetos con alta habilidad espacial, y mayor correlación interhemisférica (F3-F4) para sujetos con baja habilidad espacial. Lo anterior sugiere que es indispensable limitar las características de la población para estudiar a la MT y MI de manera objetiva.

De acuerdo con Sarnthein et al. (1998), la MT es definida como la habilidad para mantener un evento activo en la mente por un periodo corto de tiempo. Estos autores, estudiaron la sincronización electroencefalográfica en humanos, durante la ejecución de una tarea de MT. Evaluaron la coherencia electroencefalográfica en seis bandas (delta 2-4 Hz, theta 4-7 Hz, alfa1 7-10 Hz, alfa2 10-13 Hz, beta 13-19 Hz, y gamma 19-32 Hz), entre regiones prefrontales y posteriores, durante la ejecución de dos tareas de respuesta con retraso.

En una tarea se presentaban caracteres verbalizables (símbolos, letras o números), y en la otra se presentaban patrones abstractos de líneas. En ambas tareas el estímulo se mostraba por seis segundos, seguidos de cuatro segundos de retraso. Posteriormente los participantes dibujaban sobre papel el estímulo observado. Los autores encontraron alta coherencia para la fase de retención en el ritmo theta. En la tarea de caracteres, se mostró mayor correlación intrahemisférica en el hemisferio izquierdo. En ambas tareas se mostró alta coherencia entre las regiones posteriores de ambos hemisferios y las regiones frontales del hemisferio derecho (Sarnthein et al., 1998). En la figura siguiente se muestran las coherencias significativas (Figura 13).

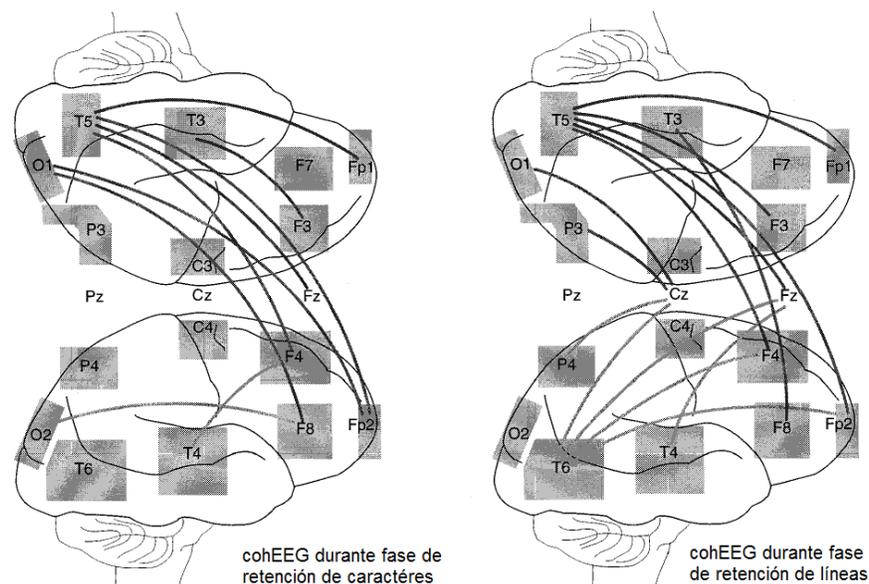


Figura 13. Se ilustran las coherencias electroencefalográficas entre las diversas regiones registradas, únicamente para el ritmo theta. A la izquierda, durante la retención de caracteres vocalizables, y a la derecha durante la retención de patrones de líneas (modificado de Sarnthein et al., 1998).

De esta forma, Sarnthein et al. (1998) sugieren que la sincronización en el ritmo theta, entre regiones de la corteza prefrontal y posteriores de asociación, subyace la MT, al formar un circuito funcional. Además se menciona que posiblemente la formación hipocampal participa también en este circuito.

También se ha reportado acoplamiento electroencefalográfico en la banda theta, entre la región correspondiente a la corteza prefrontal dorsolateral y la corteza temporal posterior, así como entre la corteza prefrontal y regiones parieto-temporales, durante los intervalos de decodificación y recuperación de información respectivamente, de una tarea de MT visoespacial (Sauseng et al., 2004).

Sauseng et al. (2004) utilizaron una tarea de retención en la que se presentaba un dígito (entre uno y ocho) seguido de un patrón de líneas, de manera que a cada patrón le correspondía un dígito. Todos los estímulos se presentaban seis veces. Posteriormente se presentaba el patrón de líneas y el sujeto tenía que indicar la etiqueta correspondiente. Se analizó el periodo correspondiente a la presentación del patrón tanto para la fase de codificación como para la de recuperación.

Además del acoplamiento electroencefalográfico mencionado anteriormente, se reportó mayor amplitud absoluta para la banda theta en el hemisferio derecho que en el hemisferio izquierdo. De esta manera se sugiere que la MT depende de la activación de circuitos neurales, mismos que se acoplan particularmente para la banda theta y que además muestran mayor actividad en el hemisferio derecho, para tareas de MT visoespacial (Sauseng et al., 2004).

El ritmo theta es el que más se ha asociado a tareas de MT (Tesche & Karhu, 1999). El aumento de sincronización de este ritmo se ha asociado a la codificación y recuperación de información durante tareas de MT. Asimismo se ha especulado su posible relación con la actividad hipocampal, siendo que en esta estructura se encuentran marcadores theta (Klimesch et al., 1996).

También se considera que las oscilaciones alfa están muy involucradas en procesos de memoria. En este sentido, se ha argumentado que la desincronización de alfa durante la ejecución de tareas de memoria, puede ser

debida a un aumento de atención (Klimesch et al., 1996). Asimismo, se ha sugerido que la banda alfa se divide funcionalmente en banda alfa baja y banda alfa alta, en donde la sincronización de la baja banda alfa refleja falta de atención, y la alta banda alfa se asocia a memoria de largo plazo (Klimesch et al., 1996).

Stipacek et al. (2003) efectuaron un estudio en el que se pretendió estudiar la desincronización relacionada a evento (DRE) en la banda alfa, asociada a los diferentes componentes de la MT. En este trabajo se sugiere que la MT puede ser dividida en dos componentes de acuerdo al modelo de Baddeley: la memoria de corto plazo y el ejecutivo central. De esta forma se comparó la actividad EEG de la MI contra la de MT.

En la tarea de MI, los participantes tenían que indicar en una consola una serie de números (de tres a ocho dígitos), que eran mostrados previamente de uno en uno. En la tarea de MT aparecían en la pantalla diez dígitos en colores rojo o azul, con valores entre dos y siete, el participante tenía que contar los rojos pares, o los rojos nones, o los azules pares o los azules nones, de acuerdo con la instrucción que aparecía en el borde superior de la pantalla, y memorizar ese número; al final de cada ensayo el sujeto tenía que indicar la serie de números memorizada.

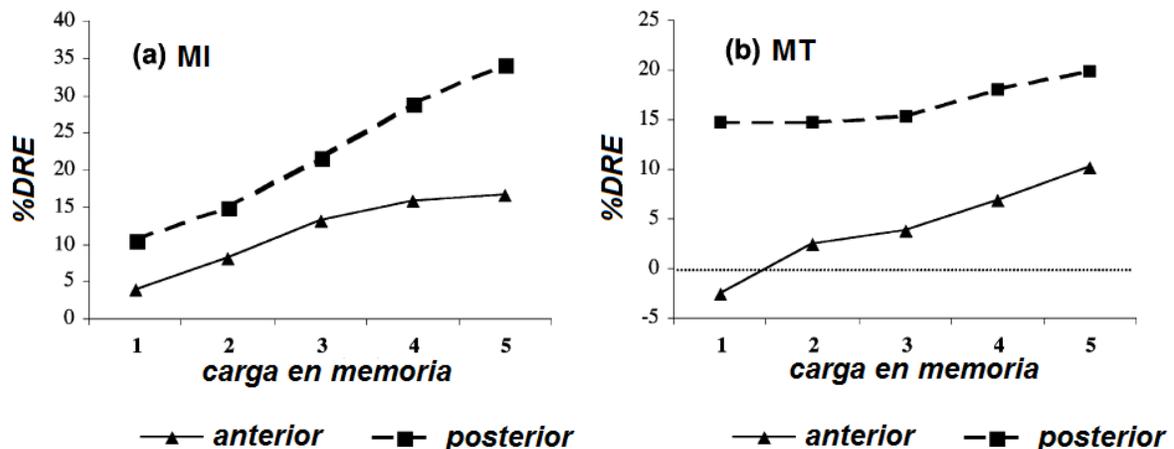


Figura 14. Los valores de %DRE indican el promedio del decremento de la banda alfa alta del intervalo de referencia (R), al intervalo de activación (A), calculado como $\%DRE = ((R-A)/R) \cdot 100$. Se indica el valor de %DRE para las diversas cargas de memoria, regiones anteriores, y regiones posteriores, para la tarea de a) MI y b) MT (Modificado de Stipacek et al., 2003).

Se analizó la actividad eléctrica cerebral correspondiente a la presentación de estímulos de los ensayos correctos, a este intervalo se le denominó intervalo de activación; similarmente se mostraba antes de cada ensayo un punto de fijación, a este intervalo se le denominó intervalo de fijación o de referencia. Para el análisis de datos, se definió al porcentaje de desincronización relacionada a evento (%DRE) como el porcentaje promedio de la potencia de la banda alfa alta del intervalo de referencia al intervalo de activación (Stipacek, Grabner, Fink, & Neubauer, 2003) (Figura 14).

Contrario a lo esperado, se observó mayor %DRE durante la tarea de MI que durante la tarea de MT. También se reportó mayor efecto dado por el grado de complejidad para la tarea de MI que para la de MT, este efecto fue más pronunciado en regiones posteriores que anteriores (Figura 14). Se sugiere que los valores de la DRE para la banda alfa presentan diferencias entre la tarea de MT y la de MI, y que el incremento en la DRE se asocia al aumento de carga en memoria (Stipacek et al., 2003).

Tomando en consideración la importancia del circuito frontoparietal en tareas de MT, así como la participación de las bandas theta y alfa, Sauseng et al. (2005) realizaron un estudio en el que se evaluó la coherencia frontoparietal en las bandas alfa y theta ante diversas demandas del ejecutivo central del modelo de Baddeley.

Sauseng et al. (2005) utilizaron una tarea de MT visoespacial, en dos condiciones: en la primer condición los participantes requerían evocar un patrón de líneas cuando escuchaban la etiqueta correspondiente (como en el estudio de Sauseng et al. (2004), anteriormente mencionado), dicha asociación era previamente aprendida; en la segunda condición los participantes comparaban un atributo señalado auditivamente de dos patrones de líneas previamente evocados. La tarea se ilustra en la figura siguiente (Figura 15).

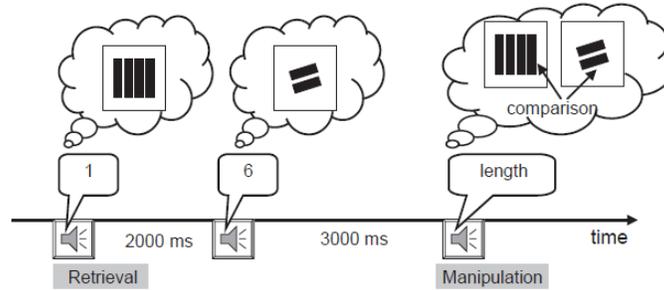


Figura 15. Tarea utilizada para evaluar distintas demandas del ejecutivo central. Una tarea requería únicamente evocación de información y la segunda manipulación de la misma al demandar comparación de estímulos. (Tomado de Sauseng et al., 2005).

Los resultados indicaron mayor coherencia entre regiones frontales y parietales en la banda theta (3.9-6.8 Hz) para la condición de manipulación que de recuperación de información. Por otra parte se observó mayor coherencia entre regiones frontales y centrales en banda alfa para la condición de recuperación que de manipulación de información (Figura 16).

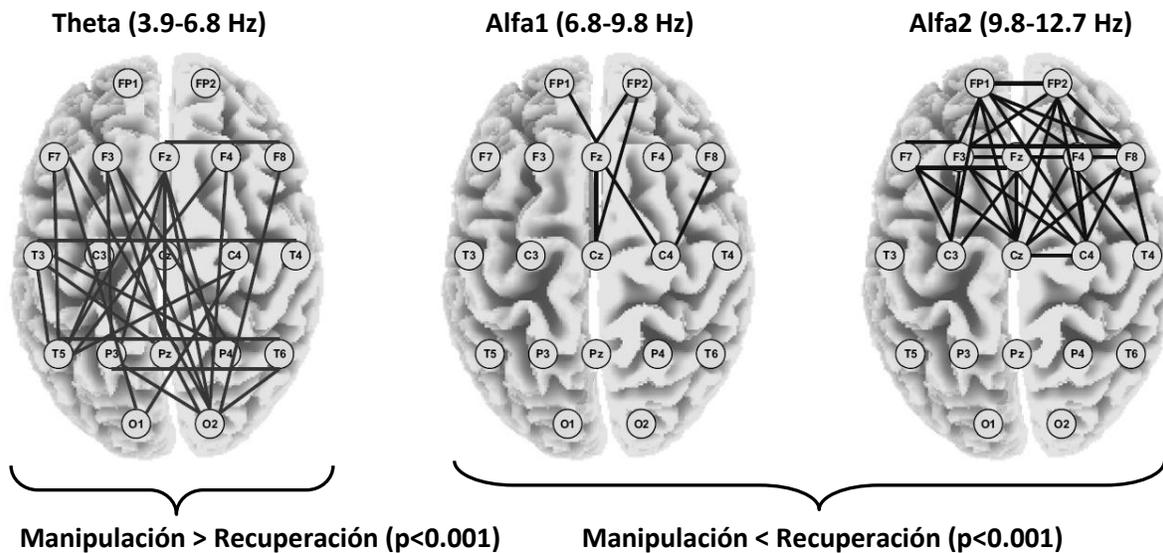


Figura 16. Se observan las derivaciones en las que se obtuvieron diferencias en la hEEG para la tarea de manipulación en relación a la de recuperación de información en las bandas señaladas (Modificado de Sauseng et al., 2005).

Dados estos resultados, Sauseng et al. (2005) sugieren que ante una mayor demanda del ejecutivo central hay un incremento paralelo en el rango de theta en

conexiones distantes, y decremento en alfa2 en conexiones proximales anteriores. Se sugiere que estos resultados no solo reflejan diferencias de manipulación sino además de carga de memoria siendo que una tarea requería la evocación de un elemento y la otra tarea la comparación de dos elementos.

En este sentido, se ha sugerido que la banda gama es sensible a diferencias en carga de memoria. Howard et al. (2003) probaron esta hipótesis. Realizaron registro electroencefalográfico intracraneal en dos pacientes que padecían epilepsia mientras realizaban la ejecución de la prueba de Sternberg. La mayor parte de los 29 electrodos implantados mostraron incremento de potencia en gamma durante el periodo de retención, el cual fue además mayor para listas de 4 que de 3 elementos así como para 3 que de 2 elementos.

Además, en el estudio de Sarnthein et al. (1998), se observó sincronización de regiones frontales y posteriores durante el periodo de percepción y retención de caracteres verbalizables y patrones de líneas, sugieren que la comunicación entre regiones próximas presenta oscilaciones en frecuencias rápidas (gamma), mientras que la comunicación entre regiones distantes manifiesta oscilaciones en frecuencias lentas (theta).

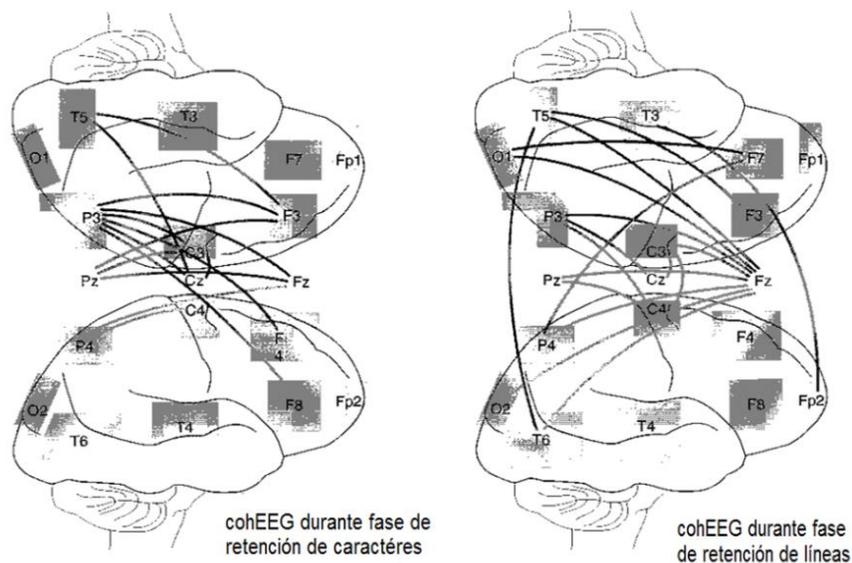


Figura 17. Se ilustran las coherencias electroencefalográficas entre las diversas regiones registradas, únicamente para el ritmo gamma. A la izquierda, durante la retención de caracteres vocalizables, y a la derecha durante la retención de patrones de líneas (modificado de Sarnthein et al., 1998).

VI. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien se sugiere que la memoria de trabajo (MT) se distingue de la memoria inmediata (MI), no existe consenso de sus diferencias, ni de las tareas que deben de ser utilizadas para su evaluación. De esta forma, aunque se ha propuesto que la prueba de cubos de Corsi en su condición regresiva, puede ser utilizada para evaluar MT ya que implica mayor grado de manipulación de información que su condición progresiva, utilizada para evaluar MI, diversos estudios sugieren que ambas condiciones son de la misma complejidad e incluso que subyacen en los mismos procesos.

Por otra parte, investigaciones neurofuncionales sugieren que el circuito frontoparietal subyace a la MT visoespacial, y proponen diferentes patrones de activación de la corteza prefrontal dorsolateral y frontopolar ante diversas demandas de procesamiento. Una forma de evaluar la interacción funcional entre varias regiones cerebrales es la correlación electroencefalográfica (rEEG). Por lo anterior, la presente investigación pretende explorar las diferencias entre MI y MT visoespacial al caracterizar la correlación EEG entre regiones frontales, así como entre frontales y parietales, durante la ejecución de las tareas en progresión (MI) y regresión (MT) de cubos de Corsi.

VI. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la correlación electroencefalográfica interhemisférica prefrontal e intrahemisférica prefronto-parietal, durante la ejecución de las tareas de memoria inmediata y memoria de trabajo de cubos de Corsi.

VI.I Objetivos Específicos

- Determinar la rEEG interhemisférica (F1-F2, F3-F4) durante la ejecución de las tareas de MI y MT de cubos de Corsi en hombres jóvenes.
- Determinar la rEEG intrahemisférica (F1-F3, F1-P3, F3-P3, F2-F4, F2-P4 y F4-P4) durante la ejecución de las tareas de MI y MT de cubos de Corsi en hombres jóvenes.
- Evaluar el desempeño de la tarea de MI y de MT de cubos de Corsi, en hombres adultos jóvenes, midiendo: el número de aciertos, el número máximo de elementos retenidos, la latencia de inicio y la duración de ejecución, en cada carga de memoria (series de 2, 3, 4, 5, 6 y 7 cubos).

VII. HIPÓTESIS GENERAL

La correlación electroencefalográfica interhemisférica e intrahemisférica presentará diferencias características durante la ejecución de las tareas de memoria inmediata y memoria de trabajo de tipo visoespacial.

VII.I Hipótesis Específicas

- La rEEG interhemisférica (F1-F2, F3-F4), particularmente entre regiones prefrontales dorsolaterales (F3-F4), será menor durante la tarea de MI que durante la tarea de MT, en hombres jóvenes durante la ejecución de cubos de Corsi.
- La rEEG intrahemisférica (F1-F3, F1-P3, F3-P3, F2-F4, F2-P4 y F4-P4), entre regiones prefrontales y parietales, será menor durante la tarea de MI que durante la tarea de MT, en hombres jóvenes durante la ejecución de cubos de Corsi.
- El número de aciertos y el número máximo de elementos retenidos serán mayores en la tarea de MI que en la tarea de MT; por otra parte, la latencia de inicio y la duración de ejecución serán menores en la tarea de MI respecto a la tarea de MT; estas diferencias serán más notorias a medida que la longitud de la serie sea más cercana al span de MT.

VIII. VARIABLES

VIII.I Variables Independientes:

- Tipo de tarea:
 - Cubos de Corsi en progresión (MI)
 - Cubos de Corsi en regresión (MT)

VIII.II Variables dependientes:

- Correlación electroencefalográfica interhemisférica:
 - F1-F2
 - F3-F4
- Correlación electroencefalográfica intrahemisférica:
 - F1-F3
 - F2-F4
 - F1-P3
 - F2-P4
 - F3-P3
 - F4- P4.
- Índices conductuales de ejecución (totales y por cada longitud de serie):
 - Número de respuestas correctas
 - Número máximo de elementos retenidos (span)
 - Latencia de inicio
 - Tiempo de ejecución

IX. METODOLOGÍA

IX.I Muestra:

- Diecinueve hombres jóvenes.

IX.II Criterios de inclusión:

- Entre 19 y 30 años de edad
- Diestros.
- Nivel universitario concluido o en curso.
- Sin antecedentes de patologías psiquiátricas, neurológicas o enfermedades crónicas diagnosticadas.
- Sin tratamiento médico actual
- CI mayor a 80 (de acuerdo a la escala de Wechsler 1997).
- Con parámetros de atención y memoria mayor o igual a cinco valorados por la Evaluación Neuropsicológica Breve en Español (NEUROPSI) (Ostrosky-Solís, Ardila & Rosselli, 1997).

IX.III Actividad Electroencefalográfica (EEG):

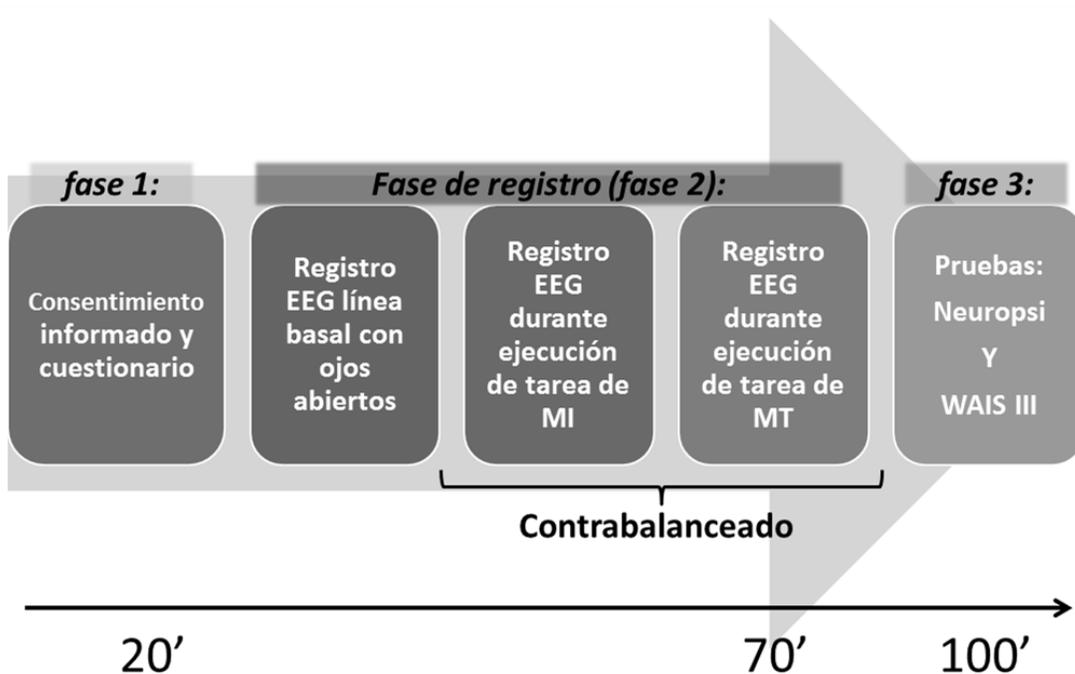
El registro EEG se realizó en las derivaciones F1, F2, F3, F4, P3 y P4 de acuerdo al Sistema Internacional 10-20 de colocación de electrodos (Jasper, 1958), con orejas cortocircuitadas como referencia. Las bandas registradas fueron: delta (1-3 Hz), theta (4-7 Hz), alfa1 (8-10 Hz), alfa2 (11-13 Hz), beta1 (14-19 Hz), beta2 (20-30 Hz) y gamma (31-50 Hz). Se colocaron además electrodos en ojos derecho e izquierdo para registrar artefactos y un electrodo en la región supranasal como electrodo de tierra.

Los registros se realizaron utilizando un polígrafo Grass, modelo P7 de 8 canales. Se colocaron filtros de 1 a 60 Hz y se capturó la señal mediante el programa CAPTUEST (Guevara, Ramos-Loyo, Hernández-González, Madera-Carrillo & Corsi-Cabrera, 2000).

Se utilizaron electrodos tipo platillo (marca Grass) con cubierta de chapa de oro. La impedancia de cada uno fue de menos de 10 k Ω . Las muestras fueron tomadas de 1024 puntos a una frecuencia de muestreo de 512 Hz. Se revisaron los registros EEG para eliminar segmentos contaminados y posteriormente se obtuvieron los valores normalizados (Z de Fisher) de la correlación interhemisférica (r_{Ter}) y la correlación intrahemisférica (r_{Tra}).

IX.IV Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en tres fases:



Fase 1.

Los sujetos fueron voluntarios, una vez establecido el contacto, se les pidió que asistieran al laboratorio sin haber ingerido bebidas alcohólicas, drogas, cafeína o alimentos con alto contenido en azúcares, tomar un desayuno ligero, no desvelarse por lo menos el día previo al estudio y acudir con el pelo lavado, seco y sin gel. Al acudir a la cita, se les comentó superficialmente el procedimiento del estudio. Se les proporcionó un formato informativo y solicitud de consentimiento en donde se les dio a conocer el procedimiento, riesgos, beneficios, y responsables del estudio; después de haberlo leído se les pidió su firma de consentimiento para constatar su participación voluntaria en la investigación.

Asimismo, se aplicó un breve cuestionario de datos generales. Este es un breve formato en el que se recabó: correo electrónico, fecha de nacimiento, escolaridad, carrera, ocupación, lateralidad, ingreso mensual aproximado,

antecedentes médicos de enfermedad, ingesta de medicamento o droga, tratamientos psiquiátricos o neurológicos y horas de sueño al día (ver en Anexos).

Posterior al llenado de la carta de consentimiento y del cuestionario de datos generales, se hizo limpieza del cuero cabelludo con alcohol en gel y pasta Nuprep, y se colocaron los electrodos en el cuero cabelludo de la cabeza del sujeto en las regiones F1 y F2 (regiones frontopolares), F3 y F4 (regiones frontales dorsolaterales), P3 y P4 (regiones parietales), en los lóbulos de ambas orejas y en la región frontal supranasal; después se midieron las impedancias con un instrumento GRASS modelo EZM 4 buscando que éstas fueran lo más homogéneas posible y con un valor inferior a los 10 ohms.

Para finalizar la fase 1, se pasó al participante, con mucho cuidado, al cuarto de registro EEG (sonoamortiguado y con temperatura estable) en donde se llevó a cabo el registro y las tareas.

Fase 2

La segunda fase consistió del registro electroencefalográfico, mismo que fue realizado en tres etapas:



Etapa 1: Línea base con ojos abiertos (LB)

En la primera etapa se llevó a cabo el registro de línea basal, el cual es un registro que se le realizó al sujeto estando sentado cómodamente en una silla, con una actitud relajada, con ojos abiertos. Además, se le pidió al participante parpadear lo menos posible, no moverse y mirar un punto fijo (proyectado en el monitor de la computadora) durante 3 minutos de registro.

Etapas 2 y 3: MI y MT

La segunda y tercera etapa constaron de las tareas de MI y MT de cubos de Corsi. Antes de empezar la segunda etapa se le dijo al sujeto que realizaría la prueba de cubos de Corsi versión computarizada. Todos los sujetos realizaron la tarea de MI que fue la prueba de cubos de Corsi en orden progresivo así como la tarea de MT que fue la prueba de cubos de Corsi en orden regresivo. El orden de aplicación de la primer tarea fue contrabalanceado entre la muestra de sujetos. Es importante señalar que fueron las mismas secuencias las que se utilizaron para hacer la tarea tanto en progresión como en regresión, por lo que todos los sujetos vieron las mismas secuencias dos veces, una antes de repetir la secuencia en orden progresivo y otra antes de repetir la secuencia en orden regresivo.

Tanto para la tarea de MI como para la de MT se presentaron al participante 6 niveles de carga de memoria, en donde cada uno constó de un conjunto de 4 series distintas con el mismo número de elementos. Cada nivel fue presentado en orden ascendente de dificultad, desde un nivel con series de dos cubos de longitud, hasta un nivel con series de siete cubos.

Cada etapa terminó hasta que el sujeto completo los 6 niveles. Al finalizar la segunda etapa se pauso el registro EEG, se verifico que estuvieran las condiciones para continuar con el estudio y se dieron las instrucciones necesarias para que el sujeto comprendiera la siguiente tarea a realizar (MI o MT).

Memoria Inmediata

Con la prueba de cubos de Corsi lista en la computadora, se le indicó al participante las instrucciones necesarias para realizar la tarea y propiciar un

registro EEG libre de artefactos. Se le explicó al sujeto que en la pantalla se mostraría un conjunto de cubos en posiciones fijas, que una vez mostrados se iluminaría un cubo a la vez formando una serie y que el fin de cada serie estaría indicado por la iluminación del último cubo en color verde. Después de haber visto la secuencia el sujeto debió señalar los cubos en el mismo orden en que fueron iluminados, iniciando con el primer cubo que se iluminó y utilizando su dedo índice derecho para señalarlos sobre la pantalla táctil. Se le recordó que es importante evitar parpadear, y que tratara de moverse lo menos posible.

Memoria de Trabajo

De forma similar que para la tarea de MI, se le explicó al sujeto que en la pantalla se mostraría un conjunto de cubos en posiciones fijas, que una vez mostrados, se iluminaría un cubo a la vez formando una serie y que el fin de cada serie estaría indicado por la iluminación del último cubo en color verde. Se le presentó al sujeto 7 niveles de cubos (con las mismas series que para la tarea de MI). Después de cada serie el sujeto debió señalar los cubos en orden inverso en que fueron iluminados, iniciando con el último cubo que se iluminó y terminando con el primero; igualmente utilizando su dedo índice derecho para señalarlos moviendo su cuerpo lo menos posible, así como evitando parpadear.

Fase 3

En la última fase se procedió a realizar las subpruebas detección visual, detección de dígitos y series sucesivas de la Evaluación Neuropsicológica Breve en Español (NEUROPSI) (Ostrosky-Solís, Ardila & Rosselli, 1997) y las subpruebas de Diseño de cubos y de Vocabulario para medir Cociente Intelectual según escala WAIS (Wechsler, 1997) (ver en Anexo).

Pruebas neuropsicológicas

Se aplicaran solamente las subpruebas de las escalas debido a que el enfoque fue de criterio de inclusión al proyecto y no con propósitos clínicos o de diagnóstico.

Escala de Inteligencia de Wechsler para adultos (WAIS III): Es un instrumento clínico de aplicación individual para la evaluación de la capacidad

intelectual de adultos que tienen entre 16 y 89 años de edad cuyas 14 subpruebas miden una faceta diferente de la inteligencia. En este estudio se realizaron a los participantes las subpruebas de diseño de cubos y de vocabulario.

I) Diseño de cubos: Un conjunto de patrones geométricos modelados o impresos en dos dimensiones que el participante reproduce utilizando cubos bicolores.

II) Vocabulario: Una serie de palabras presentadas de manera oral y visual y que la persona debe definir verbalmente.

La calificación se obtiene con base a la calificación cruda y a la calificación escalar; esta última se utiliza además para la obtención del coeficiente intelectual (CI) y se obtiene estandarizando la puntuación cruda y sumándole las puntuaciones crudas de las demás subpruebas que se necesiten evaluar. El resultado es multiplicado por 3 y al siguiente resultado le es agregado 40. Las calificaciones probables son: muy bajo, en caso de tener un puntaje menor o igual a 69; límite, si se tiene un puntaje entre 70 y 90; promedio, para un puntaje de 90 a 109; y alto, en caso de tener un puntaje entre 110 y 119. En el presente proyecto de investigación serán incluidos los participantes con un CI mayor o igual a 80.

NEUROPSI: Es un instrumento de valoración que evalúa algunos tipos de atención entre los que se encuentran la atención selectiva, sostenida y el control atencional; así como tipos de memoria incluyendo memoria de trabajo, memoria de corto plazo y de largo plazo para material espacial y verbal. En este estudio se evaluaron como criterios de inclusión la prueba de detección visual, la prueba de detección de dígitos y la prueba de series sucesivas.

El sistema de calificación aporta datos cualitativos y cuantitativos. Se pueden obtener calificaciones por separado o de manera global. Tanto para la puntuación global como para las diversas subpruebas, los parámetros de normalización nos permiten obtener un grado o nivel de alteración de las funciones cognitivas que se clasifican en: normal alto, normal, alteraciones leves o alteraciones severas. En este proyecto se incluyeron los participantes que presentaron niveles normales o altos en las puntuaciones de esta prueba.

X. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño estadístico del presente estudio es un diseño de un factor de grupos correlacionados. El factor corresponde al tipo de tarea con 2 niveles: condición memoria inmediata (cubos de Corsi en progresión) y condición memoria de trabajo (cubos de Corsi en regresión). Además fueron grupos correlacionados dado que los mismos sujetos realizaron las dos condiciones; la condición de memoria inmediata y memoria de trabajo se aplicaron en orden contrabalanceado.

	MI	MT
Hombres (n=19)	1	2

El análisis de resultados conductuales se realizó por medio de una prueba t de Student para grupos correlacionados, comparando los resultados de ambas tareas. Para el análisis de resultados electroencefalográficos, se transformaron los valores de correlación a valores Z de Fisher, posteriormente se realizó un ANDEVA para grupos correlacionados (MI y MT) seguido de una prueba de Tukey.

XI. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Diecinueve sujetos componen la muestra del presente estudio. A continuación se observa el promedio y error estándar de las variables consideradas en los criterios de inclusión:

Variable	Promedio	ES
Edad	24.7	0.84
Cociente Intelectual (WAIS III)	107.89	2.35
Detección de Dígitos (NEUROPSI)	11	0.3
Detección Visual (NEUROPSI)	9.74	0.44
Series Sucesivas (NEUROPSI)	9.26	0.77

*Los puntajes obtenidos por cada sujeto en las pruebas de WAIS III y NEUROPSI, se adjuntan en la sección de ANEXOS.

XII. RESULTADOS CONDUCTUALES

Conductualmente se evaluó el número de aciertos, número máximo de ítems retenidos, la latencia de inicio y el tiempo de ejecución (tiempo entre el primero y último movimiento). Todas las variables mencionadas se evaluaron en dos condiciones: 1. MI, es decir, cubos de Corsi en progresión y 2. MT, cubos de Corsi en regresión. Para cada variable se evaluó la media de diferencias entre la MI y la MT utilizando la prueba t de Student para grupos correlacionados.

Comparando la ejecución de la prueba de MI con la de la prueba de MT a lo largo de toda la tarea, encontramos que difiere el número de respuestas correctas ($t(18) = 2.89, p < 0.01$), siendo mayor para la MI que para la MT (Figura 18). Por otra parte, el número máximo de ítems retenidos, la latencia de inicio y el tiempo de ejecución no difirieron de manera significativa.

Promedio de Respuestas Correctas \pm 2 E.S.

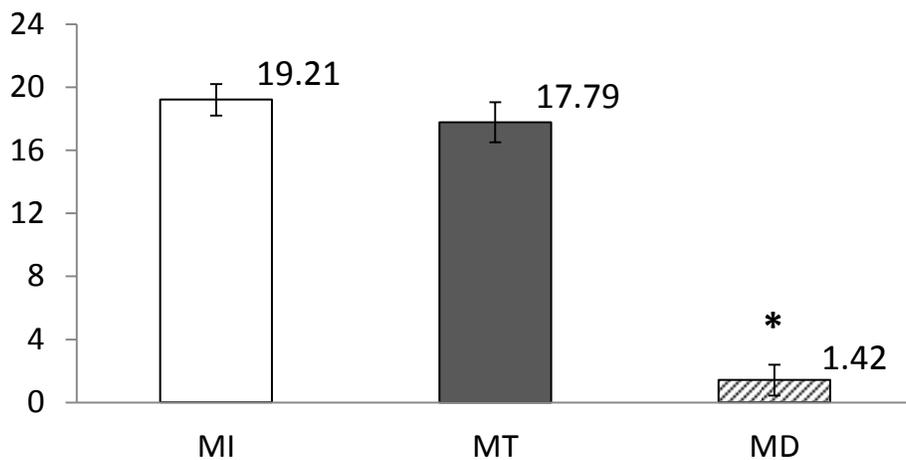


Figura 18. La tarea correspondiente a MI muestra mayor número de respuestas correctas que la tarea correspondiente a MT (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (* $p < 0.01$) (n=19).

Además, se compararon las variables anteriormente mencionadas (número de aciertos, número máximo de ítems retenidos, la latencia de inicio y el tiempo de ejecución) entre MI y MT para cada carga de memoria (evaluando la media de diferencias), en donde la carga de memoria se definió por el número de elementos

de la secuencia, teniendo así, carga de memoria correspondiente a dos, tres, cuatro, cinco, seis y siete elementos.

Aunque el análisis de la ejecución completa muestra diferencia de medias en el número de respuestas correctas para la tarea de MI y MT, el análisis por carga de memoria sugiere que esta diferencia es particularmente evidente cuando la carga de memoria es igual a cinco ($t(18) = 2.97, p < 0.01$) (Figura 19). Para las demás cargas de memoria no se observaron diferencias de medias significativas (Figura 19). Tampoco se observaron diferencias significativas para el número máximo de ítems retenidos, la latencia de inicio y el tiempo de ejecución.

Promedio de Respuestas Correctas ± 2 E.S.

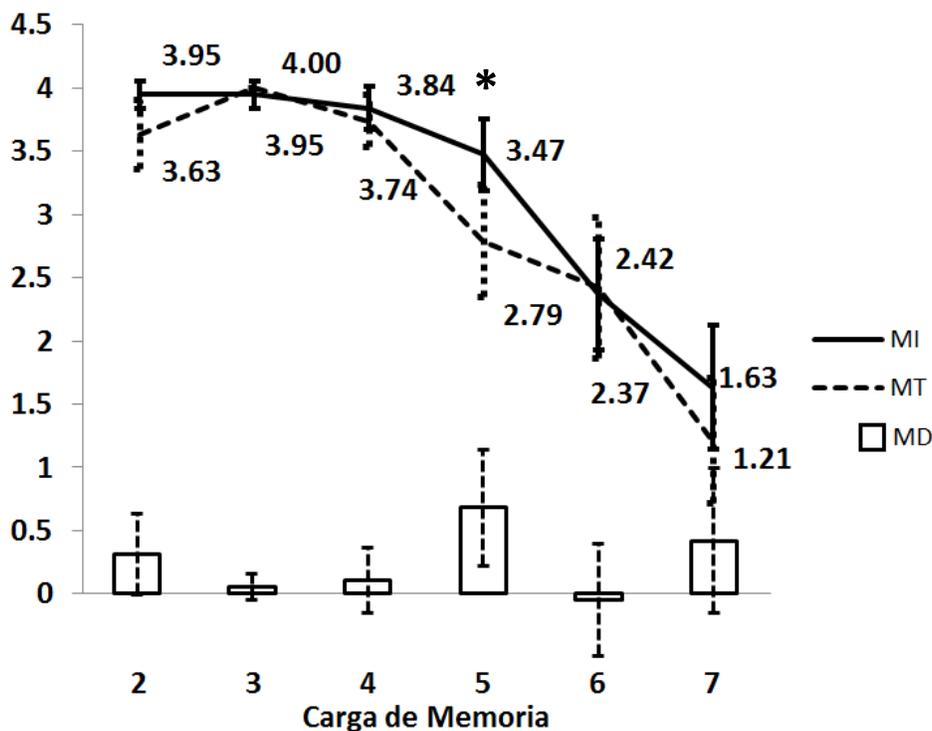


Figura 19. Promedio de respuestas correctas de MI y MT para series de 2, 3, 4, 5, 6 y 7 elementos. La MI muestra mayor número de respuestas correctas únicamente para las series de 5 elementos (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (* $p < 0.01$) ($n = 19$).

Adicional a los objetivos planteados, se realizó un análisis de correlación entre la MI y MT. Se observó una correlación significativa para el número de respuestas correctas ($r = 0.648, p < 0.01$) (Figura 20), y para el tiempo de ejecución ($r = 0.621, p < 0.01$) (Figura 21) entre la tarea de MI y MT. En contraparte, el número

máximo de ítems retenidos y la latencia de inicio no mostraron correlación significativa.

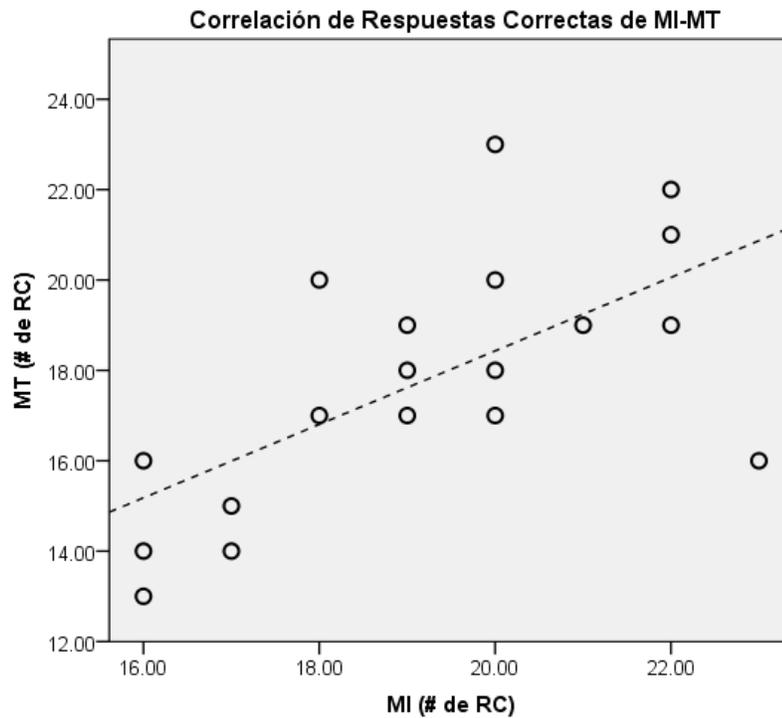


Figura 20. Correlación entre el promedio de respuestas correctas obtenidas por los participantes en la tarea MI y la MT ($r = 0.648$, $p < 0.01$) ($n = 19$).

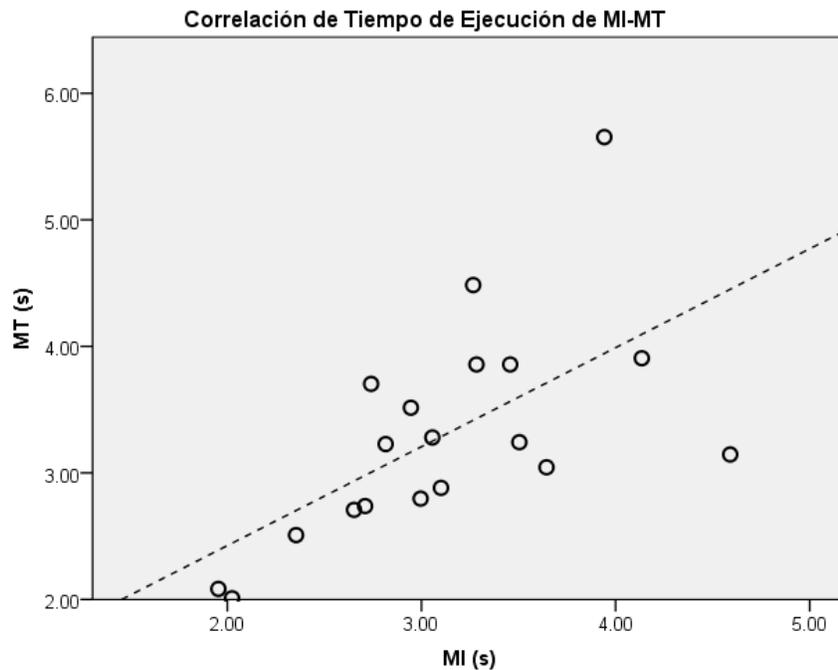


Figura 21. Correlación entre tiempo de ejecución de la tarea correspondiente a MI y la correspondiente a MT ($r = 0.621$, $p < 0.01$) ($n = 19$).

XIII. RESULTADOS ELECTROENCEFALOGRÁFICOS

Como se mencionó anteriormente, se registraron las derivaciones F1, F2, F3, F4, P3 y P4, de las cuales se obtuvieron las correlaciones electroencefalográficas (rEEG) interhemisféricas (rTer), e intrahemisféricas (rTra), cada una en dos condiciones: 1. Memoria Inmediata (MI) y 2. Memoria de Trabajo (MT). Posteriormente se realizó la prueba t de Student para grupos correlacionados.

rEEG Interhemisférica (F1-F2, F3-F4):

Se observa mayor rEEG durante MI respecto a MT en regiones correspondientes a F3-F4 en las bandas rápidas beta1 ($t= 2.34$; $p=0.034$), y gamma ($t= 2.20$; $p=0.040$), (Figura 22). No se observan otras diferencias en la rEEG interhemisférica entre MI y MT en regiones correspondientes a F1-F2 (Figura 23).

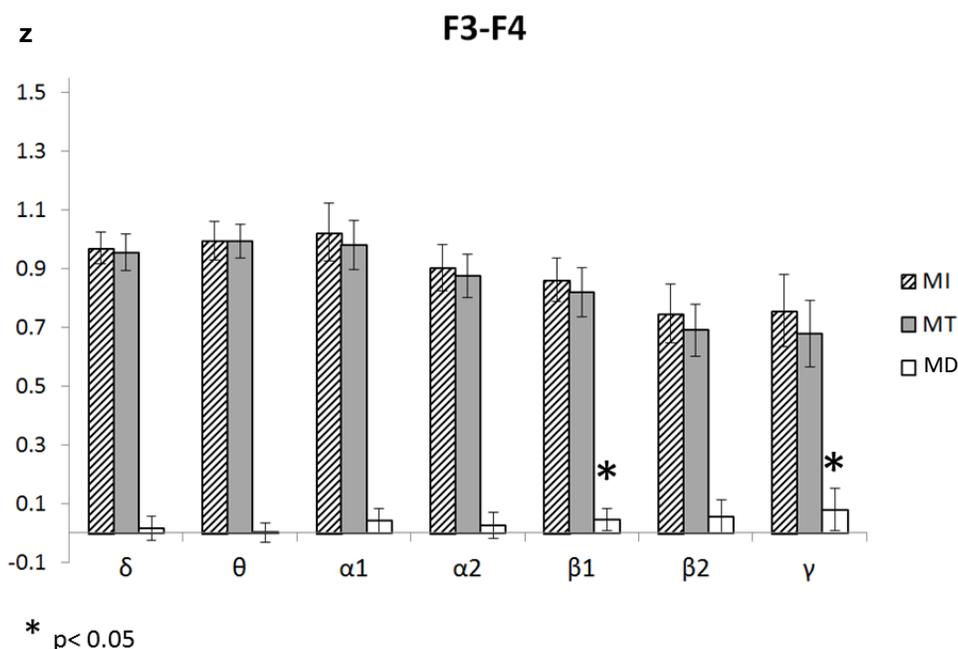


Figura 22. Media \pm 2 E.S. de la correlación interhemisférica prefrontal dorsolateral (F3-F4) en las diferentes bandas EEG (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (n= 19).

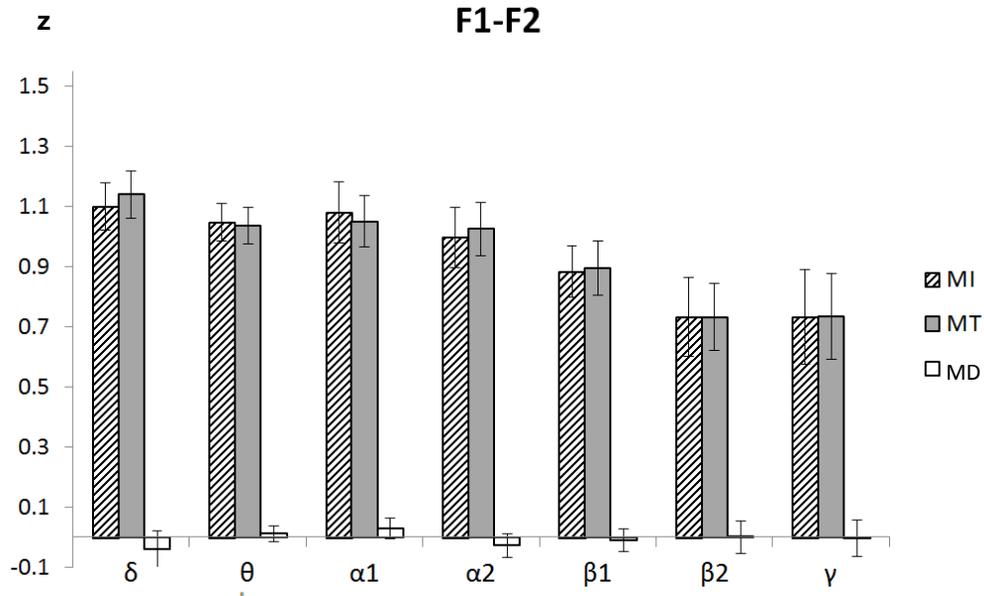


Figura 23. Media \pm 2 E.S. de la correlación interhemisférica frontopolar (F1-F2) en las diferentes bandas EEG (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (n= 19).

rEEG Intrahemisférica Izquierda (F1-F3 y F3-P3):

Se observa mayor rEEG durante MI respecto a MT entre las regiones que corresponden a F1-F3, en la banda alfa1 ($t=2.55$, $p=0.020$) (Figura 24). No hay diferencias en regiones correspondientes a F1-P3 ni a F3-P3 (Figuras 25 y 26).

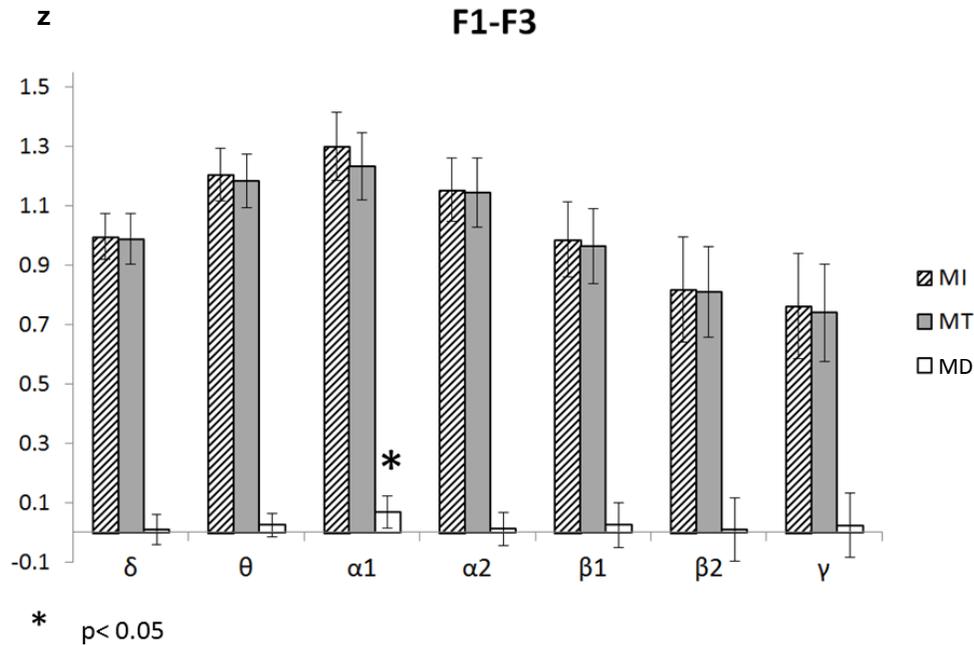


Figura 24. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-dorsolateral izquierda (F1-F3) en las diferentes bandas EEG (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (n=19).

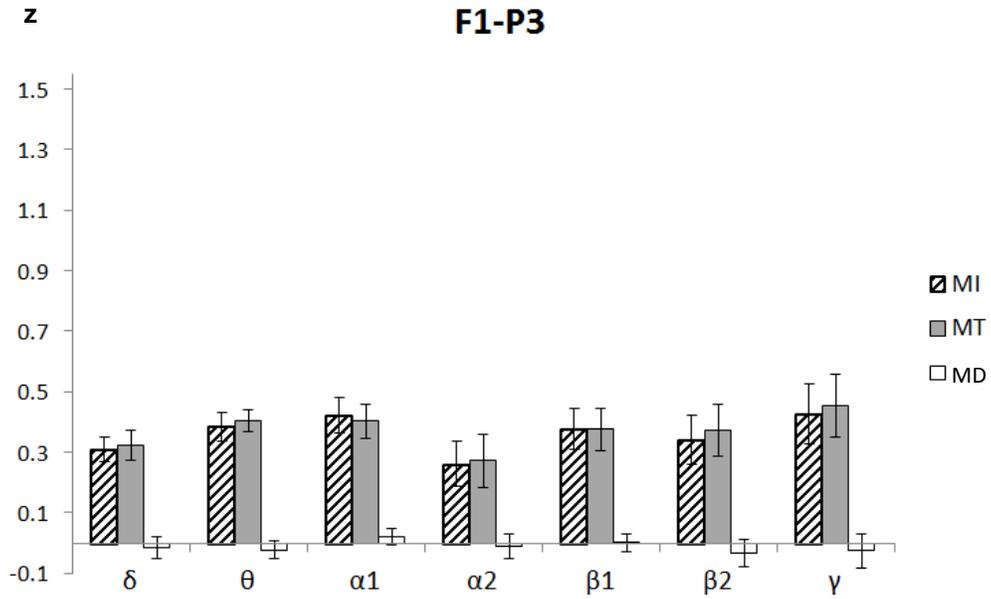


Figura 25. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica dorsolateral - parietal izquierda (F1-P3) en las diferentes bandas EEG (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (n= 19).

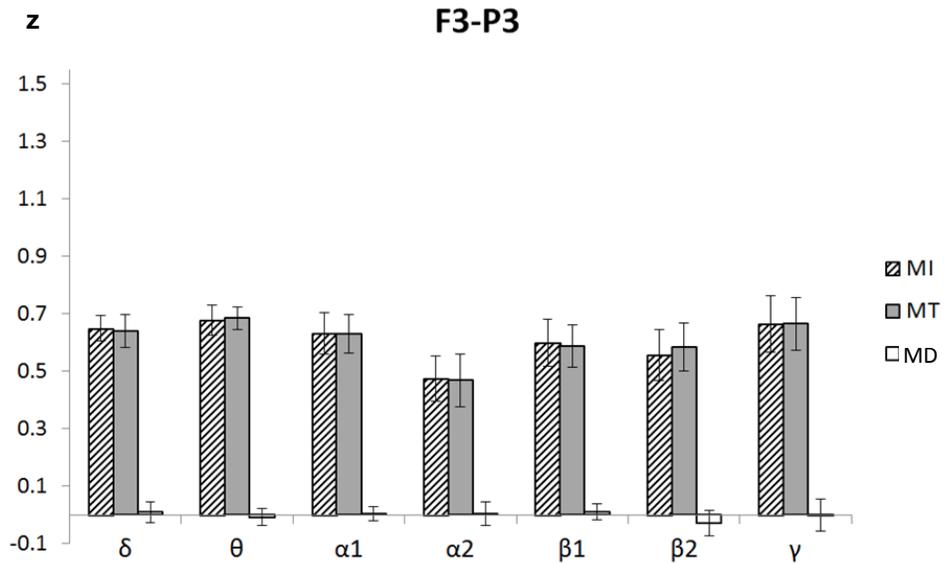


Figura 26. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-parietal izquierda (F3-P3) en las diferentes bandas EEG (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (n= 19).

rEEG Intrahemisférica Derecha (F2-F4 y F4-P4):

En la rEEG intrahemisférica derecha entre F2-F4 se observa que la MI difiere de la MT en el mayor número de bandas, siendo de manera consistente mayor la rEEG para MI que para MT para las bandas alfa1 ($t=3.39$, $p=0.003$), alfa2 ($t=3.53$, $p=0.002$), beta1 ($t=2.84$, $p=0.010$), beta2 ($t=2.60$, $p=0.017$) y gamma ($t=2.62$, $p=0.017$) (Figura 27). También se observa que la rEEG intrahemisférica derecha entre F2-P4 en la banda beta1 es mayor durante la MI respecto a la MT (Figura 28). No se observan diferencias en regiones correspondientes a F4-P4 (Figura 29).

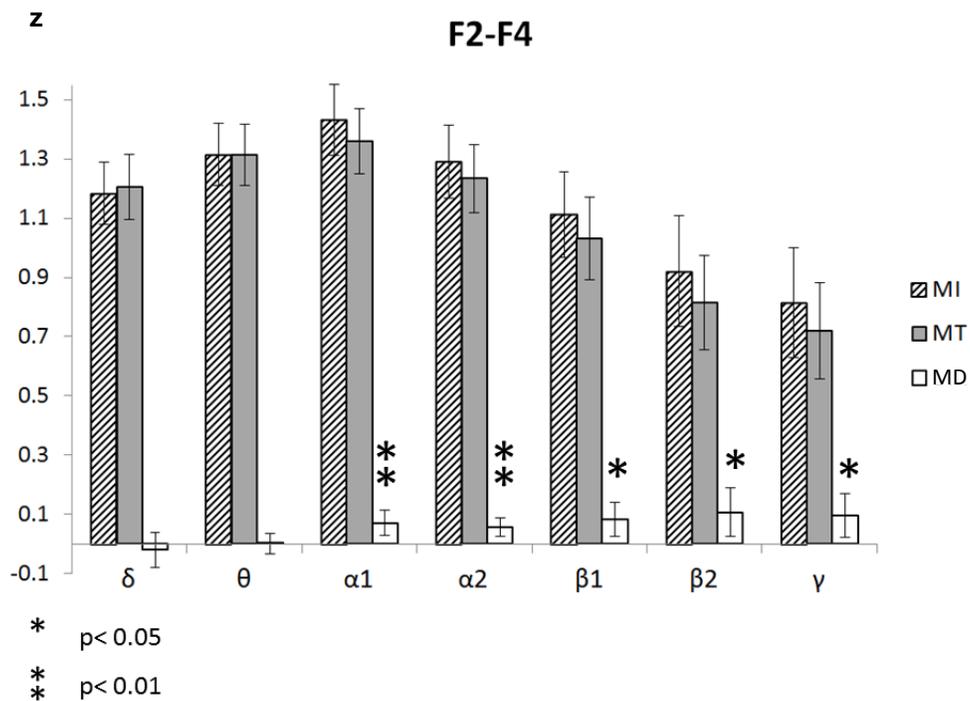


Figura 27. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-prefrontal dorsolateral derecha (F2-F4) en las diferentes bandas EEG (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (n= 19).

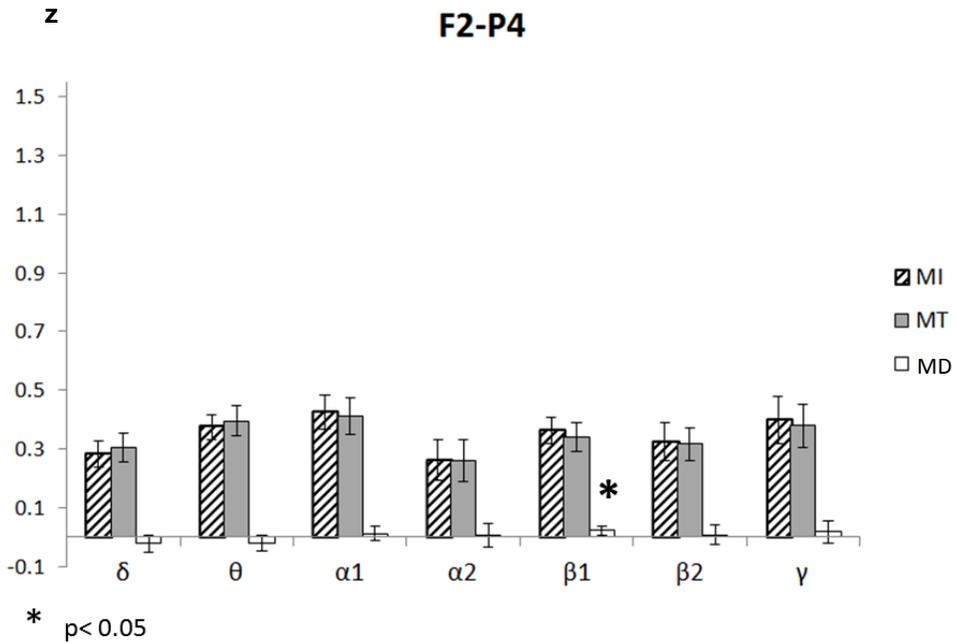


Figura 28. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica prefrontal dorsolateral - parietal derecha (F2-P4) en las diferentes bandas EEG (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (n= 19).

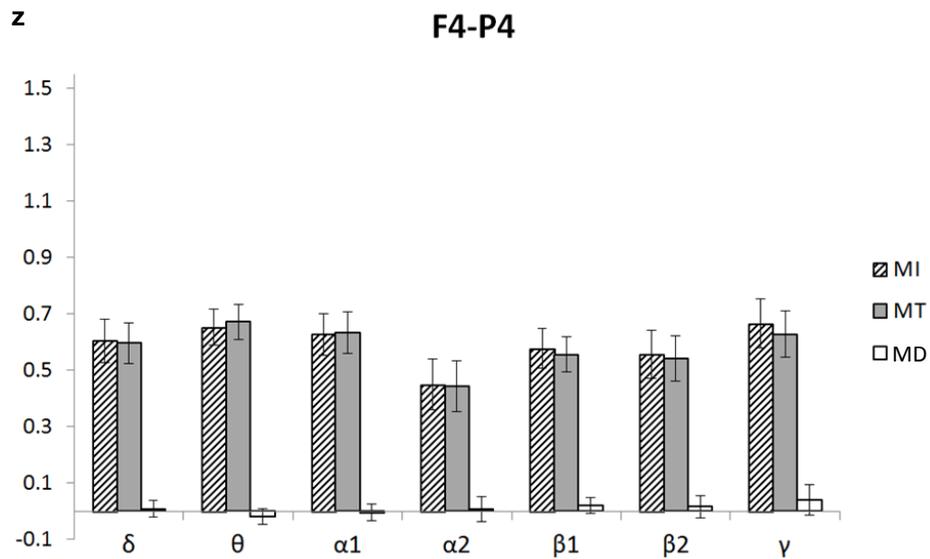


Figura 29. Media \pm 2 E.S. de la correlación intrahemisférica frontopolar-parietal derecha (F4-P4) en las diferentes bandas EEG (MI: Memoria Inmediata, MT: Memoria de Trabajo, MD: Media de Diferencias) (n= 19).

XIV. DISCUSIÓN

La memoria, para su estudio, es dividida en diversos sistemas. En este sentido, aunque se sugiere la distinción entre la MI y la MT, no existe consenso de sus diferencias (Cowan, 2008), ni de las tareas que deben ser utilizadas para evaluar a uno u otro tipo de memoria.

Se ha propuesto que la MI requiere únicamente el mantenimiento y evocación de información y que puede ser evaluada mediante pruebas como la tarea de respuesta con retraso, la prueba de Sternberg, o el test de cubos de Knox, por mencionar algunos ejemplos (Goldman-Rakic, 1987; Fletcher, & Henson, 2001; Aben, Stapert & Blokland, 2012). Por otra parte, se sugiere que la MT requiere además del mantenimiento, manipulación de información, de manera que puede ser evaluada mediante tareas como rotación de letras, dot matrix, y n-back (Miyake et al., 2001; Aben, Stapert & Blokland, 2012).

Si se considera que la evocación de información en el mismo orden en que fue presentada, requiere de menor manipulación que la evocación en orden inverso, resulta razonable pensar que ambas condiciones son de distinto grado de complejidad. De esta forma, diversos reportes sugieren que la prueba de retención de dígitos en orden regresivo demanda mayor participación del ejecutivo central (de acuerdo con el modelo de Baddeley) que el orden progresivo; sin embargo, resulta intrigante que para la prueba de cubos de Corsi, se sugiera que la condición progresiva y regresiva, subyacen en los mismos procesos cognoscitivos (Berch, Krikorian, Huha, 1998; Kessels et al., 2008; Wilde & Strauss, 2002).

Cabe mencionar que la prueba de cubos de Corsi ha sido aplicada mayormente en la condición regresiva para evaluar MT. Sin embargo, también se ha utilizado la condición progresiva para evaluar MT (Fischer, 2001), o en contra parte, se han utilizado ambas condiciones para evaluar MI (Park et al., 2002). Asimismo, de nuestro conocimiento, pocos estudios han evaluado la condición progresiva con la condición regresiva de cubos de Corsi, y estos concluyen que

ambas condiciones presentan el mismo grado de complejidad (Kessels et al., 2008; Wilde & Strauss, 2002).

En la presente investigación se planteó analizar las posibles diferencias entre el procesamiento de cubos de Corsi en progresión, que fue considerada una prueba de MI y cubos de Corsi en regresión, que fue considerada como una prueba de MT, partiendo del supuesto de que la reproducción de la secuencia en orden inverso demanda mayor complejidad así como un procesamiento cerebral distinto, al de la reproducción de la secuencia en el mismo orden. Se encontró que estas tareas pueden ser diferenciables de acuerdo a los resultados conductuales, así como que para cada una se presentan patrones de activación eléctrica cerebral característicos.

Conductualmente se observó que el número de respuestas correctas para la prueba de cubos de Corsi en progresión es mayor que para la prueba de cubos de Corsi en regresión, lo que sugiere que la ejecución de cubos de Corsi en orden regresivo es de mayor complejidad. Sin embargo, estos resultados contradicen los reportados anteriormente tanto por Wilde (2002) como por Kessels et al. (2008).

Metodológicamente existen varias diferencias entre el estudio presente y los estudios de Wilde (2002) y Kessels et al. (2008), por ejemplo: el género de la muestra, el orden de aplicación de las pruebas, la versión de la prueba (física y computarizada), entre otras. Además, en el estudio de Wilde (2002) el 80% de la muestra tenía lesiones en la cabeza, y el promedio de edad de la muestra de Kessels et al. (2008) era de 67 años, factores que son considerables dado que lesiones en regiones posteriores y anteriores afecta la ejecución de tareas de memoria visoespacial (Kessels et al. 2000; Renzi, Faglioni, & Previdi, 1977), además de que se han reportado diferencias en la capacidad de memoria de trabajo en función de la edad (Hevia, 2014).

Sin embargo, consideramos que el principal factor por el que se encontró diferencias en el presente estudio y no en los estudios anteriores, se debe a las cargas de memoria empleadas en los diferentes estudios. En este sentido Howard et al. (2003) mencionan que el concepto de carga de memoria se refiere a la

cantidad de información que debe de ser mantenida en la mente por un tiempo dado, por su parte Berch et al. (1998) sugieren que en la prueba de cubos de Corsi, la carga de memoria es determinada por la longitud de la secuencia y la posición de los cubos.

En el presente estudio nos limitamos a definir carga de memoria, en función del número de elementos de las secuencias, ya que es una variable cardinal, variando entre 2 y 7 elementos para ambas condiciones (progresiva y regresiva). Por otra parte en el estudio de Kessels et al. (2008) la longitud de la secuencias variaba para la condición progresiva de 2 a 9 elementos y para la condición regresiva de 2 a 8 elementos, de manera que la carga de memoria fue mayor para la condición progresiva que para la condición regresiva. Similarmente, aunque en el estudio de Wilde (2002) la longitud de la secuencias posibles variaban entre 2 y 8 elementos para ambas condiciones, la prueba era finalizada cuando se fallaba en 2 ensayos de una misma longitud de serie, y siendo que el 78% de la muestra obtuvo mayor número de respuestas correctas en la condición progresiva que en la regresiva, posiblemente fue mayor la carga de memoria aplicada en la condición progresiva que regresiva de manera similar al estudio de Kessels (2008), además se aplicaron secuencias de hasta 8 elementos en población clínica, lo que pudo haber suprimido las posibles diferencias conductuales entre ambas condiciones al ser alta la probabilidad de cometer errores.

Diversos estudios sugieren que la carga de memoria influye en la ejecución de la tarea (Gevins, Smith, McEvoy & Yu, 1997; Stipacek, Grabner, Fink, & Neubauer, 2003). En el presente estudio, se encontró que juega un papel crucial en las diferencias conductuales entre la prueba de cubos de Corsi progresiva y regresiva al ser mayor el número de respuestas correctas para la prueba progresiva exclusivamente cuando la carga de memoria corresponde a una longitud de secuencia de cinco elementos y muy parecido tanto para la carga de memoria de cuatro como para la de seis elementos. Lo anterior sugiere que ambas pruebas son igualmente fáciles para la carga de memoria cuatro o menor e igualmente difíciles para la carga de memoria seis o mayor, y es en cinco

elementos, en donde la mayor manipulación de información para la condición regresiva que para la condición progresiva se hace evidente.

Respecto a la activación cerebral, estudios de imagenología funcional proponen que las pruebas de MT requieren de mayor reclutamiento de áreas, y/o mayor activación de las mismas, que las pruebas de MI (Klingberg, O'Sullivan, & Roland, 1997; Braver, & Bongiolatti, 2002). Esto concuerda con los resultados EEG del presente estudio, ya que además de las diferencias conductuales reportadas, se encontró que el grado de acoplamiento EEG cortical durante la ejecución de cubos de Corsi en la condición progresiva y condición regresiva es distinta.

Para la banda alfa, los resultados indican mayor rEEG intrahemisférica entre región frontopolar y dorsolateral derecha (F2-F4) para alfa1 y alfa2, así como mayor rEEG intrahemisférica entre región frontopolar y dorsolateral izquierda (F1-F3) para alfa2, durante la prueba de MI respecto a la de MT.

La desincronización de banda alfa se ha asociado al aumento de activación cortical (Klimesch et al., 1993) e incremento de atención (Pfurtscheller, Stancák & Neuper, 1996). Asimismo, diversos reportes sugieren que la banda alfa se desincroniza ante el aumento de carga de memoria (Klimesch et al. 1993; Stipacek et al. 2003) y Sauseng et al. (2005) reportan un decremento de desincronización relacionada a eventos (DRE) para la prueba de manipulación de información y un aumento de sincronización relacionada a eventos (SRI) para la prueba de recuperación de información en banda alfa2. Estos estudios sugieren que la banda alfa se desincroniza ante el aumento de demanda (por ejemplo, carga de memoria o manipulación de información) durante la aplicación de pruebas de memoria. Sauseng et al. (2005) además de analizar DRE reportan mayor coherencia electroencefalográfica (en las bandas alfa1 y alfa2) interhemisférica e intrahemisférica frontal (derivaciones F1, F2, F3, F4, Fz) durante una tarea de evocación de información, en comparación a una tarea de evocación y manipulación de la misma, sugieren así, que el decremento de coherencia de alfa2 refleja participación del ejecutivo central del modelo de Baddeley.

Debido a que la coherencia es influida por cambios de fase y de potencia, Sauseng et al. (2005) proponen que el aumento de coherencia EEG en regiones frontales, se debe a un incremento de potencia paralelo más que a un aumento de conectividad local. Por otra parte, la rEEG es influida por cambios de fase y polaridad más no de potencia, se propone entonces, que la correlación observada para la banda alfa durante la tarea de MI se asocia a un acoplamiento de fase de la actividad eléctrica en ambas regiones lo que sugiere la coordinación de dichas regiones frontales durante la tarea de MI visoespacial. Por otra parte, se ha sugerido que menor rEEG se asocia también a mayor grado de especialización (Corsi-Cabrera, et al. 1997), por lo que se propone que la menor rEEG en banda alfa observada para la prueba de MI en comparación a la prueba de MT indica mayor grado de especialización de regiones prefrontales, en procesos que se asocian a la banda alfa como la atención, o que se asocian con la participación del ejecutivo central propuesto por Baddeley.

Además, en el presente estudio es en la banda alfa en la que se encontraron las diferencias con la mayor significancia. Se considera que de dividir las pruebas utilizadas (MI y MT) en fases de codificación, almacenamiento y evocación de información, la mayor diferencia se podría presentar durante la fase de recuperación de información, pues la evocación para la prueba de MI es en el mismo orden en que fue presentada la secuencia y para la prueba de MT en el orden inverso, mientras que la fase de almacenamiento y la de codificación parecen ser similares dadas las características de la prueba. Lo anterior concuerda con la propuesta de que la banda alfa se asocia a funciones específicas principalmente durante la fase de evocación de información (Klimesch, Schimke, & Pfurtschelle, 1993).

Por otra parte, en el presente estudio se encontró mayor rEEG interhemisférica dorsolateral (F3-F4) para la banda beta1, mayor rEEG intrahemisférica derecha dorsolateral-frontopolar (F2-F4) para la banda beta1 y beta2, y mayor rEEG intrahemisférica frontopolar-parietal derecha (F2-P4) para la banda beta1, durante la prueba de MI respecto a la de MT.

Las bandas rápidas (beta1, beta2 y gama), han sido asociadas a la comunicación interneuronal de redes inhibitorias (Whittington, Traub, Kopell, Ermentrout & Buhl, 2000). Asimismo, se ha reportado que el aumento de potencia de beta1 y beta2 en regiones frontales se asocia con la capacidad de inhibir una respuesta motora (Swann et al. 2009), capacidad que podría ser útil para reproducir satisfactoriamente la secuencia observada tanto en el mismo orden (MI) como en orden inverso (MT). Sin embargo resulta interesante que la prueba de MI manifieste mayor rEEG en regiones frontales que la prueba de MT.

En este sentido, se ha propuesto que la sincronización en banda beta se asocia a la comunicación de regiones prefrontales con regiones del núcleo subtalámico, comunicación que se indica subyace la inhibición (Swann et al. 2011; Kuhn et al. 2004). De esta forma, si consideramos que la prueba de MT requiere mayor grado de especialización en regiones prefrontales, como sugerimos anteriormente, se propone que los procesos altamente especializados llevados a cabo en regiones frontopolares y dorsolaterales (por ejemplo: procesamiento de subobjetivos, monitoreo y manipulación de información) interactúan a su vez con el proceso de inhibición. Por tanto al establecer comunicación independiente, cada región prefrontal (frontopolares y dorsolaterales) con regiones subcorticales necesarias para la inhibición, se presenta menor grado de similitud en banda beta en regiones frontopolares y dorsolaterales para la prueba de MT y mayor rEEG para la prueba de MI.

En el presente estudio se encontró mayor rEEG frontopolar-parietal derecha (F2-P4) en banda beta en la MI respecto a la MT. En este sentido se ha propuesto que la interacción de regiones de alto nivel de procesamiento con regiones sensoriales o motoras en banda beta se asocia al mantenimiento de un estado constante (Engel, Fries, 2010). Por otra parte, diversos estudios sugieren que la activación en banda beta, particularmente durante la fase de retención de información (Siegel, Warden & Miller, 2009; Tallon-Baudry et al., 1998), se asocia al mantenimiento activo de información. Lo anterior sugiere que el mayor grado de acoplamiento en banda beta durante la tarea de MI que durante la tarea de MT,

puede ser también un indicador del mantenimiento activo de información o de un estado de procesamiento constante, en el que se requiere coordinación frontoparietal.

También en el presente estudio se encontró mayor correlación interhemisférica prefrontal dorsolateral (F3-F4) e intrahemisférica frontopolar-dorsolateral derecha (F2-F4) en la banda gamma durante la tarea de MI respecto a la tarea de MT.

Se ha sugerido que la sincronización EEG en banda gamma en regiones prefrontales y occipitales se asocia a la representación mental de información visual (Tallon-Baudry et al., 1998). En congruencia, Sarnthein et al. (1998), reportaron un incremento de coherencia interhemisférica e intrahemisférica en banda gamma durante la fase de codificación y retención de patrones de líneas. Asimismo, Tallon-Baudry et al. (1998) reportaron que el incremento en potencia de banda gamma se presenta durante el tiempo de retraso de respuesta, tiempo en el que se da el mantenimiento activo de información, disminuyendo además su potencia al final del tiempo de retraso.

Dada la evidencia mencionada, se sugiere que la mayor rEEG en banda gamma en regiones prefrontales durante la prueba de MI respecto a la de MT, se debe a que la prueba de MI facilita el mantenimiento activo de información, en donde la reproducción de la secuencia actúa posiblemente como reforzamiento de la información, al ser en el mismo orden en que esta fue codificada. Por otra parte, para la prueba de MT, la evocación de la secuencia al ser en el orden inverso en que fue codificada, requiere posiblemente de mayor participación del control atencional, por lo que al ser los recursos limitados se interrumpe la representación de la secuencia, lo que coincide con el mayor número de respuestas correctas observadas para la prueba de MI que para la prueba de MT.

Es interesante, que las diferencias en la rEEG se hayan manifestado principalmente en el hemisferio derecho. Esto es congruente con diversos estudios que indican que el hemisferio derecho predomina en el procesamiento de información de tipo visoespacial (Corsi, 1972; Fletcher, & Henson, 2001), así como

que conexiones frontoparietales se correlacionan con el desempeño en tareas visoespaciales (Thiebaut et al., 2011). En este sentido, se ha reportado utilizando coherencia EEG, mayor número de acoplamientos funcionales en regiones frontales y parietales para el hemisferio derecho durante el mantenimiento de información visoespacial que durante el mantenimiento de información de tipo verbal (Sarnthein et al., 1998), de manera que el encontrar diferencias en mayor número de bandas en la rEEG interhemisférica para el hemisferio derecho que para el hemisferio izquierdo puede deberse a la alta especialización del hemisferio derecho en procesamiento visoespacial, la cual es además más evidente en hombres que en mujeres (Corsi-Cabrera, et al. 1997).

Por otra parte, ya que la banda theta se ha asociado ampliamente a tareas de memoria de corto plazo (Klimesch, Doppelmayr, Russegger, & Pachinger, 1996; Sarnthein, Petsche, Rappelsberger, Shaw & von Stein, 1998; Tesche & Karhu, 1999), se podría esperar encontrar diferencias en la rEEG en esta banda en el presente estudio, entre las pruebas de MI y MT empleadas. Sin embargo, se ha propuesto que la banda theta responde a las demandas generales de la tarea (Caplan, Madsen, Raghavachari, & Kahana, 2001).

Las pruebas de MI y MT empleadas en este trabajo, comparten la mayoría de atributos (carga de memoria, modalidad sensorial, posición de los cubos, características físicas de los elementos, modo de respuesta, entre otras) de manera que resulta razonable, no haber encontrado diferencias en la banda theta para las pruebas de MI y MT utilizadas. Esto podría ser un indicio de que el procesamiento durante la ejecución de las pruebas de MI y MT utilizadas comparte si bien no todos, sí algunos componentes propios y necesarios para ambos tipos de memoria, mismos que se presentan independientemente del grado de manipulación que la tarea requiera, lo que además es congruente con los resultados conductuales en donde se encontró una correlación para el número de respuestas correctas y para el tiempo de ejecución entre las pruebas de MI y MT aplicadas. De esta forma, si se da por hecho que la MI corresponde a un sistema distinto que la MT; es importante considerar que tomando como criterio crucial el

grado de manipulación de información, ambos tipos de memoria tienen componentes y procesos en común, como los asociados al circuito prefrontoparietal y a la banda theta.

Si la prueba de cubos de Corsi en progresión evalúa MI y la prueba de cubos de Corsi en regresión MT, es una pregunta que invita a cuestionarnos preguntas más elementales como por ejemplo, qué define, caracteriza y distingue a un sistema. Si se limitara a definir sistema como un conjunto de estructuras que comparten un objetivo funcional como propone Tulving (1987), concluir si la MI y MT corresponden o no al mismo sistema sería erróneo pues se estudiaron sólo las que se consideraron las principales y no todas las regiones implicadas. Por otra parte, aunque posiblemente participan las mismas estructuras para la prueba de cubos de Corsi en regresión y cubos de Corsi en progresión, los resultados de rEEG sugieren que el grado de activación, acoplamiento funcional, y especialización en regiones prefrontales es mayor para la condición de regresión que para la condición de progresión. De esta forma se sugiere que el grado de manipulación de información, es un atributo que puede ser válido para diferenciar MI de MT.

Es importante tomar en consideración que en muchos estudios en los que se evalúa MI o MT visoespacial utilizando la prueba de cubos de Corsi, tanto para fines clínicos como de investigación, se cuenta únicamente con resultados conductuales y no de activación cerebral. Los resultados de la presente investigación sugieren que al ser la prueba de cubos de Corsi en progresión de menor complejidad que la de cubos de Corsi en regresión, particularmente para una carga de memoria igual a 5 elementos, podría ser útil valorar MI y MT con cubos de Corsi considerando utilizar únicamente ciertas longitudes de secuencia, las cuales posiblemente varíen dependiendo de las características de la población a evaluar, siendo que se ha reportado que el desempeño en memoria visoespacial varía en función del género, edad, entre otras variables (Hevia, 2014; González-Garrido et al. 2013).

Se sugiere para un estudio posterior, realizar un análisis de la actividad EEG durante la carga de memoria cercana a 5 elementos, ya que probablemente las diferencias de correlación entre ambos tipos de memoria serían más evidentes. Asimismo sería interesante evaluar cubos de Corsi en cargas de memoria bajas (por ejemplo 2 y 3 elementos) y altas (por ejemplo 7 y 8 elementos), para determinar si el procesamiento cerebral varía ante diferentes demandas de carga de memoria, lo que contribuiría a esclarecer las diferencias entre MI y MT.

XV. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista conductual los resultados indican que la MI y la MT evaluadas por cubos de Corsi condición progresiva (MI) y regresiva (MT), son distintas, diferencias que son más evidentes para una carga de memoria alrededor de 5 elementos, que parece ser un punto de corte entre cargas altas y bajas en sujetos jóvenes.

La ejecución de las tareas de MI y MT de cubos de Corsi, requieren de la participación de regiones frontales, que se asocian al ejecutivo central, pero con distinto grado de acoplamiento funcional para cada tipo de tarea, principalmente en las bandas alfa, beta y gamma, que se asocian a procesos como la retención y manipulación de información, modulación de atención, y control de inhibición.

El circuito prefrontoparietal es fundamental para las dos clases de memoria y se sugiere que presenta una activación similar en MI y MT. Sin embargo, la mayor distinción entre los tipos de memoria evaluados, radica en la activación de subregiones de la corteza prefrontal (dorsolateral y frontopolar), las cuales se asocian a procesos complejos.

XVI. REFERENCIAS

- Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968). Human Memory: A proposed system and its control processes. En K. Spence & J. Spence (Eds.). *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (89-195). London: Academic Press.
- Baddeley, A.D. (2012). "Working memory: Theories, Models, and Controversies". *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29.
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974). Working memory. En G.H. Bower (Ed). *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (47-89). New York: Academy Press.
- Behrmann, M., Geng, J.J. & Shomstein, S. (2004). *Parietal cortex and attention*. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 212–217.
- Berch D.B., Krikorian, R. & Huha, E.M. (1998). *The Corsi Block- Tapping Task: Methodological and Theoretical Considerations*. *Brain and Cognition*, 38, 317-338.
- Braver, T.S. & Bongiolatti, S.R. (2002). *The Role of Frontopolar Cortex in Subgoal Processing during Working Memory*. *Neuroimage*, 15, 523–536.
- Buckner, R.L. & Koutstaal, W. (1998). *Functional neuroimaging studies of encoding, priming, and explicit memory retrieval*. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 95, 891-898.
- Caplan, J.B., Madsen, J.R., Raghavachari, S. & Kahana, M.J. (2001). *Distinct patterns of brain oscillations underlie two basic parameters of human maze learning*. *Journal of Neurophysiology*. 86, 368-380.
- Constantinidis, C. & Wang, X. (2004). *A Neural Circuit Basis for Spatial Working Memory*. *The Neuroscientist*, 10, 553-565.
- Christoff, K. & Gabrieli, J. (2000). *The frontopolar cortex and human cognition: Evidence for rostrocaudal hierarchical organization within the human prefrontal cortex*. *Psychobiology*, 28, (2), 168-186.
- Coles & Rugg (1995). *Electrophysiology of Mind*. Oxford: Oxford University Press.

- Collura, T. (1993). *History and Evolution of Electroencephalographic Instruments and Techniques*. Journal of Clinical Neurophysiology, 10, 476-504.
- Corsi-Cabrera, M., Arce, C., Ramos, J. & Guevara, M.A. (1997). *Effects of spatial ability and sex on inter- and intrahemispheric correlation of EEG activity*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 102, 5-11.
- Corsi, P. (1972). *Memory and the medial temporal region of the brain*. Tesis de doctorado en filosofía. Universidad de McGill (Montreal).
- Cowan, N. (2008). *What are the differences between long-term, short-term, and working memory?* Progress in Brain Research, 169, 323-338.
- Daneman, M. & Carpenter, P.A. (1980). *Individual differences in working memory and reading*. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19, 450-466.
- De Renzi, E., Faglioni, P. & Previdi, P. (1977). *Spatial Memory and Hemispheric Locus of Lesion*. Cortex, 13, 424-433.
- D'Esposito, M., Postle, B.R., Ballard, D. & Lease, J. (1999). *Maintenance versus manipulation of information held in working memory: an event-related fMRI study*. Brain and Cognition, 41, 66-86.
- Engel, A. K. & Fries, P. (2010). *Beta-band oscillations - signalling the status quo?*. Current Opinion in Neurobiology, 20, (2), 156-165.
- Engle, R.W., Tuholski, S.W., Laughlin, J.E. & Conway, A.R.A. (1999). *Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach*. Journal Experimental Psychology, 102, 211-245.
- Fletcher, P.C. & Henson, R.N.A. (2001). *Frontal lobes and human memory. Insights from functional neuroimaging*. Brain, 124, 849-881.
- Friedman, H.R. & Goldman-Rakic, P.S. (1988). *Activation of the Hippocampus and Dentate Gyrus by Working-memory: A 2-deoxyglucose Study of Behaving Rhesus Monkeys*. Journal of Neuroscience, 8, 4693-4706.
- Fuster, J.M. (1995). *Memory in the Cerebral Cortex. An Empirical Approach to Neural Networks in the Human and Nonhuman Primate*. Cambridge: MIT Press.

- Fuster, J.M. (1997). *The prefrontal Cortex, Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the frontal Lobe*. Philadelphia: Lippincott-Raven.
- Fuster, J.M. (2001). *Review: The Prefrontal Cortex - an Update: Time Is of the Essence*. *Neuron*, 30, 319–333.
- Fuster, J.M. (2008). *The Prefrontal Cortex*. Amsterdam: Academic Press.
- Gevins, A., Smith, M.E., McEvoy, L. & Yu, D. High-resolution EEG Mapping of Cortical Activation Related to Working Memory: Effects of Task Difficulty, Type of Processing and Practice. *Cerebral Cortex*, 7, 374-385.
- Glabus, M.F., Horwitz, B., Holt, J.L., Kohn, P.D., Gerton, B.K., Callicot, J.L., Meyer-Lindenberg, A. & Berman, K.F. (2003). *Inter-individual Differences in Functional Interactions among Prefrontal, Parietal and Parahippocampal Regions during Working Memory*. *Cerebral Cortex*, 13, (12), 1352-1361.
- Goldman-Rakic, P.S. (1987). *Development of Cortical Circuitry and Cognitive Function*. *Child Development*, 58, 601-622.
- González-Garrido, A.A., Gómez-Velázquez, F.R., Sequeira, H., Ramos-Loyo, J. & López-Franco, A.L. Gender Differences in Visospatial Working Memory- Does Emotion Matter?. *International Journal of Psychological Studies*, 5, (1), 2013.
- Guevara, M.A., Hernández-González, M. & Sanz, A. (2010). Señales electroencefalográficas. En M.A. Guevara, M. Hernández-González, A. Sanz (Eds.), *Programas computacionales para análisis de señales bioeléctricas y evaluación cognoscitiva*(21-28). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Guevara, M.A., Hernández-González, M., Sanz, A. & Amezcua, C. (2011). Programas computacionales para evaluar funcionalidad cognoscitiva. En L., Chacón, J., Roca, J., Barrada, A., Rivera (Eds.), *Cómo tomamos decisiones: cuerpo, mente y estilos de vida* (129-170). Guanajuato: Universidad de Guanajuato.
- Guevara, M.A., Sanz-Martin, A. & Hernández-González, M., Sandoval-Carrillo, I.K., (2014). *CubMemPc: Prueba Computarizada para Evaluar la Memoria a*

- Corto Plazo Visoespacial con y sin Distractores*. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, 35, (2), 171-182.
- Guevara, M.A., Ramos-Loyo, J., Hernández-González, M., Madera-Carrillo, H & Corsi-Cabrera, M. (2000). *CAPTUSEN: Un sistema para la adquisición computarizada del EEG y los potenciales relacionados a eventos*. Revista Mexicana de Psicología, 17, (1), 77-88.
- Gumá, E. (2001). La memoria humana. En Alcaraz, V., Gumá, E. (Eds), *Texto de Neurociencias Cognitivas* (195-234). México: Manual Moderno.
- Gray, H. (1989). *Gray's anatomy* (37th ed.) (P. L. Williams, Ed.). Edinburgh: C. Livingstone.
- Harmony, T., Marosi, E., Díaz de León, A.E., Becker J. & Fernández, T. (1991). *Factores de riesgo biológicos y socioculturales que afectan la maduración del EEG en el niño. Ontogenia Neural*. México: Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas.
- Hebb, D.O. (1949). *The Organization of Behavior: a Neuropsychological Theory*. New York: Wiley.
- Hevia, J. (2014). *Correlación electroencefalográfica en niños, adolescentes y adultos: un paso más hacia el entendimiento de la ontogenia de la memoria de trabajo*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Guadalajara (Guadalajara).
- Homan, R.W., Herman, J. & Purdy, P. (1987). *Cerebral location of international 10-20 system electrode placement*. Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 66, 376-382.
- Howard, M.W., Rizzuto, D.S., Caplan, J.B., Madsen, J.R., Lisman, J., Scheibe, R.A., Schulze-Bonhage, A. & Kahana, M.J. (2003). *Gamma Oscillations Correlate with Working Memory Load in Humans*. Cerebral Cortex, 13, (12), 1369-1374.
- Jaeggi, S.M., Seewer, R., Nirkko, A.C., Eckstein, D., Schroth, G. & Groner, R., (2003). *Does Excessive Memory Load Attenuate Activation in the Prefrontal*

- Cortex? Load-Dependent Processing in Single and Dual Tasks: Functional Magnetic Resonance Imaging Study*. *Neuroimage*, 19, (2), 210-225.
- James, W., (1890). *The principles of Psychology*, New York: Holt.
- Jonides, J., Smith, E., Koeppel, R., Awh, E., Minoshima, S. & Mintum, M. (1993). *Spatial working memory in humans as revealed by PET*. *Nature*, 363, 623-625.
- Kandel, E. (2000). Touch. En E. Kandel, J. Schwartz, J. Jessell (Eds). *Principles of Neural Science (451-471)*. New York: McGraw-Hill.
- Kandel, E.R. (2007). *En busca de la memoria. Una nueva ciencia de la mente*. Buenos Aires: Katz Barpal.
- Kane, M.J., Bleckley, M.K., Conway, A.R.A. & Engle, R.W. (2001). *A controlled-attention view of working-memory capacity*. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 169 –183.
- Keenan, P.A., Ezzat, W.H., Ginsburg, K. & Moore, G.J. (2001). *Prefrontal cortex as the site of estrogen's effect on cognition*. *Psychoneuroendocrinology*, 26, 577–590.
- Kessels, R.P.C., Van Zandvoort M.J.E., Postma, A., Kappelle, J. & De Haan, E.H.F. *The Corsi-Block Tapping Task: Standardization and Normative Data*. *Applied Neuropsychology*, 7, (4), 252-258.
- Kessels, R.P.C., Van den Berg, E., Ruis, C. & Brands, A.M.A. (2008). *The Backward Span of the Corsi Block-Tapping Task and Its Association With the WAIS-III Digit Span*. *Assessment*, 15, (4), 426-434.
- Kirchner, W.K. (1958). *Age Differences in Short-Term Retention of Rapidly Changing Information*. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352-358.
- Klimesch, W., Schimke, H. & Pfurtscheller, G. (1993). *Alpha Frequency, Cognitive Load and Memory Performance*. *Brain Topography*, 5, (3), 241-251.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H. & Pachinger, T. (1996). *Theta band power in the human EEG and the encoding of new information*. *Neuroreport* 7, 1235-1240.

- Kuhn, A.A., Williams, D., Kupsch, A., Limousin, P., Hariz, M., Schneider, G-H., Yarrow, K. & Brown P. (2004). *Event-related beta desynchronization in human subthalamic nucleus correlates with motor performance*. *Brain*, 127, 735-746.
- Logie, R.H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove: Lawrence Erlbaum.
- Luck, S.J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge: MIT Press.
- Makris, N., Kennedy, D.N., McInerney, S., Sorensen, A.G., Wang .R., Caviness, V.S. & Pandya, J.D. (2005). *Segmentation of Subcomponents within the Superior Longitudinal Fascicle in Humans: Quantitative, In Vivo, DT-MRI Study*. *Cerebral Cortex*, 15, 854-869.
- Miller, G.A., Galanter, E. & Pribram, K.H. (1960). *Plans and the Structure of Behavior*. New York: Henry Holt and Company.
- Milner, B. (1971). *Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man*. *British Medical Bulletin*, 27, 272–277.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Rettinger, D.A., Shah, P. & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology*, 103, (4), 621-640.
- Niedermeyer, E. (2005). The Normal EEG of the Waking Adult. En E. Niedermeyer, F. Lopes da Silva (Eds.) *Electroencephalography* (167-192). Amsterdam: Lippincott Williams & Wilkins.
- Nieuwenhuys R., Voogd J. & Huijszen C. (2009). *El Sistema Nervioso Central Humano*. Madrid: Panamericana.
- Orsini, A. (1994). *Corsi's Block-Tapping Test: Standardization and Concurrent Validity With WISC-R For Children Aged 11 to 16*. *Perceptual Motor Skills*, 79, 1547-1554.
- Ostrosky-Solís, F., Ardila, A. & Rosselli, M. (1997). *Evaluación Neuropsicológica Breve en Español (NEUROPSI)*. México, D.F: Publingenio S.A. de C.V.

- Park, D.C., Davidson, T.H., Davidson, N.S., Lautenschlager, G. & Smith, A.D., (2002). *Models of Visuospatial and Verbal Memory Across the Adult Life Span. Psychology and Aging*. 17,(2), 299-320.
- Petrides, M. (2005). *Lateral prefrontal cortex: architectonic and functional organization*. Philosophical Transaction of the Royal Society, 360, 781-795.
- Piccardi, L., Laria, G., Ricci, M., Bianchini, F., Zompanti, L. & Guariglia, C. (2008). *Walking in the Corsi Test: Which Type of Memory Do You Need?* Neuroscience Letters, 432,127–131.
- Preuss, T.M. & Goldman-Rakic, P.S. (1989). *Connections of ventral granular frontal cortex of macaques with presylvian premotor and somatosensory areas: anatomical evidence for somatic representation in primate frontal association cortex*. Journal of comparative Neurology, 282, 293-316.
- Purves D., Augustine G.J., Fitzpatrick D., Katz L.C., Anthony-Samuel L., McNamara J.O. & Williams S.M. (2001). *Neuroscience 2nd Edition*. Sunderland: Sinauer.
- Pfurtscheller, G., Stancák, A. & Neuper, Ch. (1996). *Event-related synchronization (ERS) in the alpha band- an electrophysiological correlate of cortical idling: A review*. International Journal of Psychophysiology, 24, 39-46.
- Richardson, J.T.E. (2005). Knox's cube imitation test: A historical review and experimental analysis. *Brain and Cognition*, 59, 183-213.
- Roselli, M., Matute, E. & Ardila, A. (2010). Desarrollo cognitivo y maduración cerebral. En M. Roselli, E. Matute, A. Ardila (Eds). *Neuropsicología del desarrollo infantil (15-41)*. México: Manual Moderno.
- Rudkin, S., Pearson, D. & Logie, R. (2007). *Executive processes in visual and spatial working memory tasks*. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 60, (1), 79 - 100.
- Sarnthein, J., Petsche, H., Rappelsberger, P., Shaw, G.L. & von Stein, A. (1998) *Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory*. Neurobiology, 95, 7092-7096.

- Sauseng, P., Klimesch, W., Doppelmayr, M., Hanslmayr, S., Schabus, M. & Gruber, W. (2004). *Theta coupling in the human electroencephalogram during a working memory task*. *Neuroscience Letters*, 354, 123 - 126.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M. & Doppelmayr, M., (2005). *Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory*. *International Journal of Psychophysiology*, 57, 97-103.
- Schack, B., Rappelsberger, P., Vath, N., Weiss, S., Moller, E., Griessbach, G. & Witte, H. (2001). *EEG frequency and phase coupling during human information processing*. *Methods of Information in Medicine*, 40, 106–111.
- Scoville, W. & Milner, B. (1957). *Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions*. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 20, 11–21.
- Seamon, J.G. & Kenrick, D.T., (1994). *Psychology 2nd Edition*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Squire, L. (2001). *“The many faces of memory”*. *Nature Neuroscience*, 4, 867-868.
- Squire, L.R., (2004) *Memory systems of the brain: A brief history and current perspective*. *Neurobiology of learning and memory*, 82, 171-177.
- Stipacek, A., Grabner, C.N., Fink, A. & Neubauer, A.C. (2003). *Sensitivity of human EEG alpha band desynchronization to different working memory components and increasing levels of memory load*. *Neuroscience Letters*, 353, 193-196.
- Sternberg, S., (1969). *Memory-Scanning: Mental Processes Revealed by Reaction-Time Experiments*. *American Scientist*, 57, 4, 421-457.
- Swann, N., Poizner, H., Houser, M., Gould, S., Greenhouse, I., Cai, W., Strunk, J., George, J. & Aron, A.R. (2011). *Deep Brain Stimulation of the Subthalamic Nucleus Alters the Cortical Profile of Response Inhibition in the Beta Frequency Band: A Scalp EEG Study in Parkinson’s Disease*. *The Journal of Neuroscience*, 31, (15), 5721-5729.
- Swann, N., Tandon, N., Canolty, R., Ellmore, M., McEvoy, K., Dreyer, S., DiSano, M. & Aron A.R. (2009). *Intracranial EEG reveals a time- and frequency specific role for the right inferior frontal gyrus and primary motor cortex in*

- stopping initiated responses*. Journal of Neuroscience, 29, 12675-12685.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Peronnet, F. & Pernier, J. (1998). *Induced gamma-band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans*. Journal of Neuroscience, 18, 4244 - 4254.
- Tesche, C.D. & Karhu, J. (1999). *Theta oscillations index human hippocampal activation during a working memory task*. Neurobiology, 97, 919-924.
- Thiebaut de Schotten, M., Dell'Acqua, F., Forkel, S.J., Simmons, A., Vergani, F., Murphy, D. & Catani, M., (2011). *A lateralized brain network for visuospatial attention*. Nature Neuroscience, 1-2.
- Tirapu, U.J., Molina, A.G., Lago, M.R. & Ardila, A.A., (2012). *Neuropsicología de la Corteza Prefrontal y las Funciones Ejecutivas*. España: Viguera.
- Tsoneva, T., Baldo, D., Lema, V. & García-Molina, G. (2011). *EEG-Rhythm Dynamics during a 2-back Working Memory Task and Performance*. Eindhoven: Philips Research Europe.
- Tulving, E. (1987). *Multiple memory system and consciousness*. Human Neurobiology, 6, 67-80.
- Wang, X. (2001). *Synaptic reverberation underlying mnemonic persistent activity*. Trends in Neurosciences, 24, 455-463.
- Wechsler, D. (1997). *WAIS-Español Escala de Inteligencia para Adultos*. ED. El Manual Moderno; México, D.F.
- Wechsler, D. (1998). *WAIS-Español Escala de Inteligencia para Adultos*. ED. El Manual Moderno; México, D.F.
- Whittington, M.A., Traub, R.D., Kopell, N., Ermentrout, B. & Buhl, E.H. (2000). *Inhibition-based rhythms: experimental and mathematical observations on network dynamics*, 38, (3), 315-336.
- Wilde, N. & Strauss, E. (2002). *Functional Equivalence of WAIS-III/ WMS-III Digit and Spatial Span under Forward and Backward Recall Conditions*. The Clinical Neuropsychologist, 16, (3), 322-330.
- Zilles, K., Eickhoff, S. & Palomero-Gallagher, N. (2003). *The Human Parietal Cortex: A Novel Approach to Its Architectonic Mapping*. En A. Siegel, R.

- Andersen, H. Freund, D. Spencer (Eds). *The parietal lobes* (1-21). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Zola, S.M., Squire, L.R., Teng, E., Stefanacci, L., Buffalo, E.A. & Clark, R.E., (2000). *Impaired Recognition Memory in Monkeys After Damage Limited to the Hippocampal Region*. *Journal of Neuroscience*, 20, 451–463.

XVII. ANEXOS

XVII.I PUNTAJES DE MUESTRA EN PRUEBAS DE INCLUSIÓN

Puntajes y rango obtenidos en las pruebas correspondientes a Cociente Intelectual (CI) de la prueba WAIS III, y detección de dígitos, detección visual y series sucesivas de la prueba NEUROPSI, de los 19 sujetos incluidos (de 26 evaluados) en la muestra correspondiente al presente estudio.

	WAIS III			NEUROPSI					
	EDAD	CI TOTAL	Rango	Detección de dígitos	Rango	Detección visual	Rango	Series Sucesivas	Rango
S01	30	100	Promedio	9	Normal	8	Normal	6	Leve
S02	28	103	Promedio	12	Normal	11	Normal	6	Leve
S03	22	112	Promedio Alto	12	Normal	6	Leve	13	Normal
S04	30	118	Promedio Alto	12	Normal	11	Normal	6	Leve
S05	29	91	Promedio	9	Normal	11	Normal	13	Normal
S06	27	112	Promedio Alto	12	Normal	11	Normal	6	Leve
S07	23	115	Promedio Alto	12	Normal	8	Normal	6	Leve
S08	28	118	Promedio Alto	12	Normal	8	Normal	8	Normal
S09	25	115	Promedio Alto	12	Normal	11	Normal	6	Normal
S10	25	91	Promedio	12	Normal	11	Normal	13	Normal
S11	26	94	Promedio	12	Normal	7	Normal	6	Leve
S12	21	97	Promedio	12	Normal	10	Normal	13	Normal
S13	29	106	Promedio	12	Normal	12	Normal	13	Normal
S14	25	103	Promedio	9	Normal	8	Normal	8	Normal
S15	20	118	Promedio Alto	9	Normal	9	Normal	13	Normal
S16	19	103	Promedio	12	Normal	10	Normal	6	Leve
S17	22	127	Superior	12	Normal	14	Normal	8	Normal
S18	21	112	Promedio Alto	12	Normal	10	Normal	13	Normal
S19	20	115	Promedio Alto	9	Normal	9	Normal	13	Normal

XVII.II FORMATO INFORMATIVO Y SOLICITUD DE CONSENTIMIENTO

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS – UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA. LABORATORIO DE CORRELACIÓN ELECTROENCEFALOGRÁFICA Y CONDUCTA

Usted está invitado a participar en un estudio de investigación orientado a evaluar el efecto de la estimulación audiovisual sobre la actividad eléctrica cerebral y la conducta. Por esta razón, a través de este formato, le estamos solicitando su consentimiento para realizarle un registro electroencefalográfico.

INFORMACIÓN

1. Los procedimientos que se seguirán, son métodos NO INVASIVOS e indoloros.
2. Tanto los directores del proyecto como los responsables de las sesiones de registro y análisis de datos son profesionales en el área de la investigación y están ampliamente capacitados para llevar a cabo este proyecto.
3. La identidad de todos los participantes en los registros se mantendrá anónima.
4. La información y los resultados de la investigación no serán usados para ningún propósito engañoso.
5. Todos los datos que resulten relevantes para el interés científico serán publicados en revistas especializadas y representará los datos de toda una muestra.

RIESGOS

No hay riesgos previsible en esta investigación ni antes ni después del registro electroencefalográfico. Como se mencionó anteriormente, la identidad de todos los participantes que sean registrados se mantendrá anónima.

BENEFICIOS

El registro electroencefalográfico es una técnica ampliamente utilizada en el diagnóstico de alteraciones de la actividad eléctrica cerebral, como son epilepsia o tumores entre otras. Al participar en este proyecto, el registro realizado pudiera servirle como una referencia del estado de salud que guarda su sistema nervioso central.

NIVEL DE CONFIANZA

Los materiales de investigación no estarán al acceso de ninguna persona que no forme parte del grupo de trabajo del laboratorio de Correlación electroencefalográfica y conducta, ni serán usados sin el permiso del jefe del mismo.

Si usted tiene preguntas en algún momento acerca de este estudio o los procedimientos, usted debe contactar a los responsables del proyecto, Dra. Marisela Hernández González y Dr. Miguel Angel Guevara, Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara. Calle Francisco de Quevedo 180, col. Arcos Vallarta, Guadalajara, Jalisco C.P. 44130. Teléfono: 38180740 ext. 33360 y 33362. Correo electrónico: maguevara@yahoo.com

PARTICIPACIÓN

Su participación en este estudio es voluntaria. Si usted decide no participar puede retirarse del estudio sin problema alguno.

CONSENTIMIENTO

Yo he leído este formato. Todas mis interrogantes con respecto a mis intereses particulares han sido respondidas satisfactoriamente. Por consiguiente yo estoy de acuerdo en participar en este estudio.

Nombre y firma del participante

Guadalajara, Jalisco a _____ de _____ de 2014.

XVII.III CUESTIONARIO DEMOGRÁFICO

Fecha: _____

Código ID: _____

Datos generales:

Correo electrónico: _____

Fecha de Nacimiento: _____ Edad: _____

Nivel de Escolaridad: _____

Carrera: _____

Ocupación: _____

Lateralidad (mano con la que escribe): _____

Ingreso mensual (familiar): a) Menos de 5,000 pesos b) Entre 5,000 y 15,000
c) De 15,000 a 25,000 d) Más de 25,000

Antecedentes médicos:

1) Enfermedades: Neurológicas, Crónicas (diabetes tipo I), antecedentes de traumatismo craneoencefálico, oncológicas, degenerativas , psiquiátricas, etc.

2) Ingesta de algún medicamento o droga: _____

Dosis y frecuencia de consumo: _____

Fecha de consumo de última dosis: _____

3) Tratamientos psiquiátricos o neurológicos: _____

4) Horas de sueño al día: _____

Agradecemos su participación, le recordamos que toda la información que nos proporciona es estrictamente confidencial y solamente será utilizada para fines de la investigación en la cual usted participa. Ningún resultado que se presente de este estudio hará referencia a personas en particular.

XVII.IV ESCALA DE ATENCIÓN NEUROPSI

ATENCIÓN

Atención y concentración. Detección Visual.

“Esta tarea consiste en marcar con una cruz todas las figuras que sean iguales a ésta (se marca una estrella).  Tiene un minuto para marcar las figuras”.

Suspensión de la actividad una vez transcurrido 60 segundos.
 Intrusiones: Cuando se marca otra figura diferente a la estrella.
 Aciertos: Número de estrellas que marca el sujeto.
 Se da un punto adicional por la que se marcó como ejemplo.
 Puntuación máxima de 24 puntos.

Número de aciertos _____

Atención y concentración. Detección de dígitos.

Leer números en secuencia horizontal.
 Leer un dígito por segundo con velocidad y volumen constantes.
 Se califican los aciertos e intrusiones de cada parte.

“Vamos a hacer un ejemplo de la tarea siguiente. Le voy a leer una lista de números y cada vez que escuche un dos e inmediatamente después un cinco, usted deberá dar un pequeño golpe en la mesa”.

3 9 2 5 1 2 4 7 1 2 5 3 5

1 ^a mitad	7	8	2	5	1	3	9	4	7	2	6	9	3
	8	7	3	8	5	7	6	2	5	8	3	9	6
	7	2	5	1	6	3	8	4	9	1	3	6	9
	4	7	3	9	1	2	5	3	1	8	5	3	5
	1	7	2	6	2	5	4	3	8	2	9	4	1
2 ^a mitad	6	2	7	1	9	5	4	3	6	1	8	2	5
	4	3	6	9	7	3	1	8	2	5	4	6	3
	8	1	7	2	5	4	6	9	3	4	8	1	3
	6	2	1	3	9	6	2	7	2	5	4	8	3
	7	5	4	3	1	8	5	9	2	5	8	7	9

Ahora le voy a leer otra lista de números y, al igual que en el ejemplo anterior, cada vez que escuche un dos e inmediatamente después un cinco, usted deberá dar un pequeño golpe en la mesa”.

Primera mitad	Segunda mitad
Aciertos _____	Aciertos _____
Intrusiones _____	Intrusiones _____
Puntuación _____	

Atención y concentración. Series Sucesivas

Suspensión de la actividad una vez transcurrido 45 segundos.

“Le voy a pedir que cuente de tres en tres empezando con el uno hasta llegar al cuarenta, por ejemplo, 1, 4, continúe usted hasta el cuarenta”.

1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40

Se califica:

3 puntos: en menos de 45 segundos sin errores.

2 puntos: en 45 segundos sin errores.

1 punto: en menos de 45 segundos con un error.

0 puntos: si comete más de un error, independientemente del tiempo.

Tiempo _____	Puntuación _____
--------------	------------------

Wechsler-III

Escala Wechsler de Inteligencia para Adultos-III

MP
66-4

Nombre: _____

Examinador: _____

Edad: _____ Fecha: _____

1. FIGURAS INCOMPLETAS



LÍMITE DE TIEMPO
20'' cada reactivo



INVERSIÓN
6 o 7 = 0 → 1-5 (inversos) hasta 2 puntuaciones perfectas consecutivas



DISCONTINUACIÓN
5 puntuaciones 0 consecutivas

Respuesta

Interrogatorio

Haga cada pregunta sólo una vez en cada aplicación

Objeto en vez de parte faltante

Sí, pero ¿qué falta?

Parte del dibujo fuera de la página

Algo falta en el dibujo. ¿Qué es lo que falta?

Parte no esencial

Sí, pero ¿cuál es la parte más importante que falta?

Si el examinando responde correctamente tras el interrogatorio, acredite 1 punto a la respuesta.

Reactivo	Respuesta	Puntuación (0 o 1)
1. Peine		
2. Mesa		
3. Rostro		
4. Portafolios		
5. Tren		
6. Puerta		
7. Pinzas		
8. Anteojos		
9. Jarra		

INICIO →

Reactivo	Respuesta	Puntuación (0 o 1)
10. Pastel		
11. Caminata		
12. Chimenea		
13. Silla		
14. Canasta		
15. Rosas		
16. Espejo		
17. Cuchillo		
18. Armarios		

Reactivo	Respuesta	Puntuación (0 o 1)
19. Hoja		
20. Ropa		
21. Vaca		
22. Bote		
23. Zapatostenis		
24. Mujer		
25. Granero		
Puntuación cruda total (Máxima = 25)		

2. VOCABULARIO



INVERSIÓN
4 o 5 = 0 o 1 → 1-3 (inversos) hasta 2 puntuaciones perfectas consecutivas



DISCONTINUACIÓN
6 puntuaciones 0 consecutivas



PUNTUACIÓN
Todos los reactivos: 0, 1 o 2

Reactivo	Respuesta	Puntuación (0, 1 o 2)
1. Centavo		
2. Cama		
3. Barco		
4. Desayuno		
5. Reparar		
6. Invierno		
7. Terminar		

INICIO →

2. VOCABULARIO *(continuación)*

Reactivo	Respuesta	Puntuación (0, 1 o 2)
8. Tranquilo		
9. Ayer		
10. Consumir		
11. Compasión		
12. Santuario		
13. Ensamblar		
14. Oración		
15. Remordimiento		
16. Diverso		
17. Confiar		
18. Designar		
19. Evolucionar		
20. Fortaleza		
21. Generar		
22. Colonia		
23. Moroso		
24. Tangible		
25. Renuente		
26. Perímetro		
27. Abrumar		
28. Audaz		
29. Plagiar		
30. Epopeya		
31. Ponderar		
32. Ominoso		
33. Diatriba		
Puntuación cruda total (Máxima = 66)		

(Agregue el crédito de los reactivos de la página anterior.)

5. DISEÑO CON CUBOS



INVERSIÓN

5 o 6 = 0 o 1 → 1-4 (inversos) hasta 2 puntuaciones perfectas consecutivas



DISCONTINUACIÓN

3 puntuaciones 0 consecutivas



PUNTUACIÓN

1-6: 2 c/diseño correcto Ensayo 1, 1 c/diseño correcto Ensayo 2, 0 c/diseño incorrecto Ensayos 1 y 2
7-14: Encierre en un círculo la puntuación correspondiente (máxima 7)

EXAMINANDO

Diseño	Límite de tiempo	Diseño incorrecto	Tiempo de ejecución en segundos	Diseño correcto	Puntuación (Encierre en un círculo la puntuación correspondiente para cada diseño.)
1.	30''	Ensayo 1 Ensayo 2		S N	Ensayo 2 Ensayo 1 0 1 2
2.	30''	Ensayo 1 Ensayo 2		S N	Ensayo 2 Ensayo 1 0 1 2
3.	30''	Ensayo 1 Ensayo 2		S N	Ensayo 2 Ensayo 1 0 1 2
4.	30''	Ensayo 1 Ensayo 2		S N	Ensayo 2 Ensayo 1 0 1 2
5.	60''	Ensayo 1 Ensayo 2		S N	Ensayo 2 Ensayo 1 0 1 2
6.	60''	Ensayo 1 Ensayo 2		S N	Ensayo 2 Ensayo 1 0 1 2
7.	60''			S N	0 16''-60'' 11''-15'' 6''-10'' 1''-5'' 4 5 6 7
8.	60''			S N	0 16''-60'' 11''-15'' 6''-10'' 1''-5'' 4 5 6 7
9.	60''			S N	0 21''-60'' 16''-20'' 11''-15'' 1''-10'' 4 5 6 7
10.	120''			S N	0 36''-120'' 26''-35'' 21''-25'' 1''-20'' 4 5 6 7
11.	120''			S N	0 66''-120'' 46''-65'' 31''-45'' 1''-30'' 4 5 6 7
12.	120''			S N	0 76''-120'' 56''-75'' 41''-55'' 1''-40'' 4 5 6 7
13.	120''			S N	0 76''-120'' 56''-75'' 41''-55'' 1''-40'' 4 5 6 7
14.	120''			S N	0 66''-120'' 46''-65'' 36''-45'' 1''-35'' 4 5 6 7

EXAMINADOR

Puntuación cruda total
(Máxima = 68)



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

COMITÉ DE ÉTICA

DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA AL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN

Diferencias en la correlación eléctrica cerebral durante las tareas de
memoria de trabajo y memoria inmediata de cubos de corsi.

CON NÚMERO DE REGISTRO ET012014-161

RESPONSABLE Dr. Miguel Ángel Guevara Pérez

APROBADO SIN MODIFICACIONES

RECHAZADO

SUGERENCIAS: _____

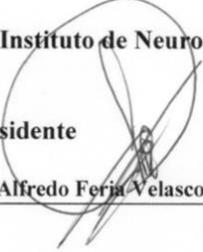
RECHAZADO DEBIDO A: _____

En caso de haber sido evaluado con sugerencias, se requiere someter a re-evaluación el proyecto de investigación al Comité de Ética en un lapso máximo de 2 semanas a partir de esta fecha.

Se emite el presente DICTAMEN el día 14 de noviembre del 2014, firmando los integrantes del Comité de Ética

del Instituto de Neurociencias.

Presidente

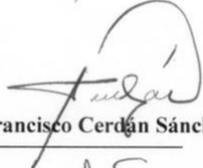

Dr. Alfredo Feria Velasco

Secretaria


Dra. Marisela Hernández González

Vocales:


Dr. Jacinto Bañuelos Pineda


Dr. Luis Francisco Cerdán Sánchez


Dr. Andrés A. González Garrido


Dr. Jorge Juárez González

Ccp. Archivo